

Tommi Saviluoto

# ACO-seinän vaikutus ääneneristävyyteen sivuavana rakenteena

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri AMK  
Rakennustekniikka  
Opinnäytetyö  
8.9.2011

## **Alkulause**

Tämä insinöörityö tehtiin osana rakennusinsinöörin tutkintoa Metropolia ammattikorkeakoulussa. Työn tilaajana oli Rakennusbetoni- ja Elementti Oy, ja työ tehtiin yhteistyössä Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:n kanssa.

Haluan kiittää koko Helimäki Akustikkojen henkilökuntaa ja erityisesti työn ohjaajaa Pekka Tainaa kannustuksesta ja neuvoista työhön liittyen.

Suuret kiitokset ansaitsevat myös tilaajayrityksen Jari Salo ja koulun ohjaaja Hannu Hakkarainen, joiden kanssa yhteistyö oli erittäin vaivatonta.

Helsingissä 8.9.2011

Tommi Saviluoto

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tommi Saviluoto ACO-seinän vaikutus ääneneristävyyteen sivuavana rakenteena 60 sivua + 5 liitettä 8.9.2011
Tutkinto	Insinööri AMK
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotantotekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Pekka Taina Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin ACO-seinän vaikutukseen huoneistojen väliseen ilma- ja askelääneneristävyyteen, kun ACO-seinä on tiloja erottavan rakenteen sivuavana rakenteena. Vaikutusta selvitettiin rakenteilla olevassa betonirakenteisessa kerrostalossa, jossa olosuhteet olivat hyvin lähellä todellista asuinkäyttötilannetta.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon ACO-seinä vaikuttaa tilojen väliseen ilma- ja askelääneneristävyyteen sekä pysty- että vaakasuunnassa mittaamalla värähtelyä vastaanottotilana toimivan huoneen kaikista rajaavista pinnoista. Lisäksi haluttiin selvittää ACO-seinän ala-, pysty- ja yläsauman eri liittymätyyppien vaikutus ääneneristävyyteen.</p> <p>Värähtelyä mitattiin kiihtyvyyssantureilla, joiden avulla saaduista tuloksista laskettiin eri pintojen akustinen teho ja siten koko tilaan syntyvä kokonaisäänitaso. Lisäksi tehtiin tarkkuusäänitasomittarilla ISO-standardien mukaisia ilmaääneneristävyys- ja askeläänitasoluvun mittauksia ja mallinnettiin ääneneristävyydet tietokoneohjelmalla.</p> <p>Värähtelymittauksen tulokset osoittivat, että ACO-seinän vaikutus huoneistojen väliseen ääneneristävyyteen oli hyvin vähäinen kaikkiin mittaussuuntiin mitattuna, sekä ilma- että askeläänien tapauksessa. Kriittisempiä äänen sivutiesiirtymäreittejä olivat vastaanottohuoneen muut sivuavat rakenteet, jotka olivat betonirakenteisia.</p> <p>Nykyään asuinkerrostalojen rakenteet voivat olla tämän insinöörityön kohteessa mitattuja raskaampia ja paremmin ääntä eristäviä. Kun äänen sivutiesiirtymäreittejä muiden kuin ACO-seinän kautta estetään, niin ACO-seinään siirtyvä mekaaninen värähtely kasvaa suhteessa muihin rakenteisiin. Toisaalta kyseisillä rakenteilla voidaan saavuttaa niin hyviä ilmaääneneristys- ja askeläänitasolukuja, että Suomen RakMk C1-1998 vaatimusten taso voidaan täyttää myös käyttämällä ACO-seinää sivuavana rakenteena.</p>	
Avainsanat	Ääneneristys, sivutiesiirtymä, rakenteiden värähtely

Author Title Number of Pages Date	Tommi Saviluoto The Effect of ACO-wall on Sound Insulation as Flanking Structure 60 pages + 5 appendices 8 September 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction Management
Instructor(s)	Pekka Taina, Project Manager Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>In this graduate study the main objective was to examine the effect of ACO-wall on airborne and impact sound insulation in a situation where the ACO-wall is a flanking structure. Its effect was studied in a concrete structured apartment house which was under construction. Still, measurement conditions were very similar to normal residential use.</p> <p>The primary aim was to find out how much the ACO-wall affects vertical and horizontal sound insulation between rooms. The secondary aim was to find out how the different bottom, top and vertical joints of the ACO-wall affect sound insulation. The effect on sound insulation was studied using vibration measurement from all the surfaces of the receiving room.</p> <p>The measurements were conducted with vibration transducers. The results were used to calculate acoustic sound power of the surfaces and, thus, total sound pressure level in the receiving room. Additionally, the apparent sound reduction indexes and normalized impact sound levels were measured using a sound level meter and also modeled with the computer software Bastian.</p> <p>The conclusions from vibration measurement were that the effect of ACO-wall on airborne and impact sound insulation between rooms was very small in all three measured directions. More critical flanking transmissions were the concrete structured elements of the receiving room.</p> <p>The structures currently used in apartment buildings can be heavier and have better sound insulation than the structures examined in this study. When the flanking transmissions to non-ACO-walls are reduced, mechanical vibration to ACO-wall is increased in relation to other structures. On the other hand, the level of sound insulation that can be achieved by using these structures is so high that requirements of (The National Building Code of Finland) C1-1998 can still be fulfilled using ACO-wall as a flanking structure.</p>	
Keywords	Sound insulation, flanking transmission, structural vibration

## Sanasto

ACO-seinä	Kevytsoorabetonista valmistettu ontelora-kenteinen seinäelementti
Ilmaääni	Ilman välityksellä ympäristöön leviävä ääni
Runkoääni	Rakenteessa etenevä mekaaninen värähtely
Sivuava rakenne	Eristävä rakenne liittyy reunoiltaan sivuaviin rakenteisiin, jotka saavat aikaan äänen sivutiesiirtymää.
Sivutiesiirtymä	Eristävää rakennetta sivuavien rakenteiden välityksellä tilasta toiseen kulkeutuva ääni.
Äänen taajuus	Värähtelyn lukumäärä tietyn ajanjakson aikana
Jälkikaiunta-aika	Aika, jossa äänikentän amplitudi vaimenee miljoonasosaan, ts. äänitaso laskee 60 dB
Absorptio	Kyky muuttaa väliaineessa tai rakenteessa esiintyvän värähtelyn liike-energia kitkaksi.
Koinsidenssi	Ilmiö, jossa äänen nopeus ilmassa on sama kuin äänen nopeus materiaalissa.
Säteilykerroin	Pinnan kyky toimia äänen säteilijänä, arvo vaihtelee välillä 0...2

## Lyhenteet

$\rho$	ilman tiheys (kg/m <sup>3</sup> )
c	äänen nopeus ilmassa (m/s)
R'	mitattu ääneneristävyys (dB)
L <sub>n</sub>	mitattu askeläänitaso (dB)
f	taajuus (Hz)
$\sigma$	säteilykerroin
$\lambda$	äänen aallonpituus
$\alpha$	absorptiokerroin
$\Omega$	avaruuskulma
k	suuntakerroin
L <sub>p</sub>	äänenpainetaso (dB)
L <sub>w</sub>	äänitehotaso (W)
T	jälkikaiunta-aika (s)
A	absorptioala
a	kiihtyvyys
v	nopeus
P	pinnan säteilemä akustinen teho

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teoriaperusta	2
2.1	Äänen peruskäsitteet	2
2.1.1	Ääni	2
2.1.2	Äänen taajuus	2
2.1.3	Äänenpaine ja äänenpainetaso	3
2.1.4	A-painotus sekä F-aikavakio	4
2.1.5	Äänitehotaso	5
2.2	Ihmisen kuuloaisti	5
2.3	Äänen eteneminen ja vaimeneminen	6
2.3.1	Leviämisvaimennus ulkona	6
2.3.2	Absorptio	7
2.3.3	Jälkikaiunta-aika	9
2.3.4	Huonevaimennus	9
2.3.5	Leviämisvaimennus sisällä	10
2.4	Ilmaääneneristävyys	11
2.5	Askelääneneristävyys	12
2.6	Sivutiesiirtymä	12
2.7	Säteilykerroin	14
3	Määräykset ja ohjeet	15
3.1	Suomen RakMk C1-1998: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa	16
3.2	Suomen RakMk D2-2010: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto	16
3.3	Rakentamismääräyskokoelman tulkintaohje	17
3.4	SFS-5907 Rakennusten akustinen luokitus	18
3.5	RIL 243-kirjasarja	18
4	ACO-kevysorabetonielementti	19
5	Mittaukset	21
5.1	Mittauskohde	21
5.1.1	Työmaakatselmukset	21
5.1.2	Rakennetyypit ja pohjakuva	21
5.1.3	ACO-seinän asennus ja liittymädetaljit	23
5.2	Värähtelymittaus	23

5.2.1	Mittauksen suunnittelu	23
5.2.2	Esivalmistelut	24
5.2.3	Laitteisto	28
5.2.4	Olosuhteet	29
5.2.5	Mittauksen kulku	29
5.2.6	Mittaustulosten laskentatapa	32
5.2.7	Mittaustulokset	34
5.3	Tarkkuusäänitasomittarilla tehdyt mittaukset	38
5.3.1	Jälkikaiunta-aika	39
5.3.2	Vastaanottohuoneen äänitaso	39
5.3.3	Ilmaääneneristävyys	40
5.3.4	Askelääneneristävyys	42
6	Ääneneristävyyden laskenta mallintamalla	45
6.1	Mallinnusohjelma	45
6.2	Rakenteet	46
6.3	Tulokset	46
7	Tulosten analysointi	48
7.1	Ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluvut	48
7.2	Värähtelymittauksen ja äänitasomittarin tulokset	48
7.3	Mallinnuksen ja äänitasomittarin tulokset	51
7.4	ACO-seinän vaikutus ääneneristävyyteen	53
8	Pohdintaa	55
9	Lähdeluettelo	57
	Kuvaluettelo	59
	Taulukkuuettelo	60
	Liitteet	
	Liite 1. Värähtelyistä lasketut ilma- ja askelääneneristävyydet (6 s.)	
	Liite 2. Värähtelyistä lasketut ilma- ja askelääneneristävyydet, tilavuusrajoitus (6 s.)	
	Liite 3. Äänitasomittarilla mitatut ilma- ja askelääneneristävyydet (6 s.)	
	Liite 4. Äänitasomittarilla mitatut ilma- ja askelääneneristävyydet, tilavuusrajoitus (6 s.)	
	Liite 5. ACO-seinän liittymädetaljit (4 s.)	



## 1 Johdanto

Työ tehdään Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:lle, joka on vuodesta 1966 toiminut erilaisten betonituotteiden valmistajana Hollolassa. ACO-seinät tehdään kevytsorabetonielementeistä, joita yritys on valmistanut vuodesta 1992. ACO-seinälle on tehty useita ääneneristävyysmittauksia mm. Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen toimesta. Kuitenkaan äänen sivutiesiirtymästä muiden rakenteiden kautta ACO-seinään ja tästä aiheutuvasta ACO-seinän värähtelystä ei ole ääniteknistä tutkimustietoa.

Työ tehdään yhteistyössä Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy:n kanssa, joka on vuonna 1996 perustettu akustiikka-alan konsulttitoimisto, joka tekee akustista suunnittelua ja äänitekniisiä mittauksia rakentamisen, teollisuuden ja maankäytön tarpeisiin.

Tämän insinööritoimiston tavoitteena on selvittää ACO-seinän vaikutus huoneistojen väliseen ilma- ja askelääneneristävyyteen, kun ACO-seinä on huoneistoja erottavan seinä- tai välipohjarakenteen sivuavana rakenteena. Toisin sanoen selvitetään, kuinka paljon äänienergiaa siirtyy muista rakenteista värähtelynä ACO-seinään, ja lasketaan ACO-seinän värähtelystä tilaan aiheutuva äänitaso. Lisäksi tarkastellaan ACO-seinän osuutta koko huoneeseen muodostuvasta äänitasosta ja vertaillaan ACO-seinän ala-, pysty- ja yläsauman eri liittymätyyppien vaikutusta ääneneristävyyteen.

Tutkimus tehdään värähtelymittauksella, jossa pintojen värähtelyä mitataan mm. juna-liikenteen maaperään aiheuttaman värähtelyn mittaamiseen käytetyillä kiihtyvyyssantureilla. Mittaus toteutetaan betonirakenteisessa asuinkerrostalossa siten, että äänilähteenä käytetään ympärisäteilevää pallokaiutinta ilmaäänen mittaamiseen, sekä askeläänikojetta runkoäänen mittaamiseen.

Mittausmenetelmän luotettavuuden ja mallinnusohjelman laskennan paikkansapitävyyden arvioimiseksi tehdään tarkkuusäänitasomittarilla äänenpainetasojen ja jälkikaiuntakokojen mittauksia, sekä mallinnetaan ääneneristävyydet tietokonepohjaisella laskentaohjelmalla.

## 2 Teoriaperusta

### 2.1 Äänen peruskäsitteet

#### 2.1.1 Ääni

Ääni on ilmanpaineessa tapahtuvaa vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Värähtelyn lähde saa aikaan ilman tihentymiä ja harventumia, jolloin ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeelle ja ääni etenee äänilähteestä ympäristöön.

(1 s. 35.)

Ääni syntyy esimerkiksi silloin, kun tuuli aiheuttaa puissa lehtien värähtelyä, josta syntyy kahinalta kuulostavaa ääntä. Toisaalta myös ihminen voi aiheuttaa ääntä äänihuulillaan, jolloin niiden aiheuttaman värähtelyn voi jokainen havaita asettamalla sormenpäätkurkunpään kohdalle.

Melu on ääntä, joka koetaan haitalliseksi tai tarpeettomaksi. Myös ihmisen kuuloalueen ulkopuolella olevat pien- tai suuritaajuiset äänet voivat aiheuttaa haittaa ihmiselle. (2 s. 4.)

#### 2.1.2 Äänen taajuus

Äänen taajuus [Hz = hertsi] tarkoittaa värähtelyjen lukumäärää yhden sekunnin aikana. Äänen taajuus  $f$  on värähtelyiden määrä  $n$  jaettuna aikajaksolla  $T$  [s], jonka kuluessa värähtelyt on havaittu eli

$$f = \frac{n}{T}$$

Tiheä värähtely koetaan korkeana äänenä, ja pienitaajuiset värähtelyt matalina ääninä.

(1 s. 35.)

Äänen taajuus vaikuttaa äänen etenemiseen. Äänen taajuudella on suora yhteys äänen aallonpituuteen, mikä vaikuttaa ääniaallon heijastumiseen tai taipumiseen esteiden vaikutuksesta. Ääniaallon taajuuden  $f$ , aallonpituuden  $\lambda$ , ja etenemisnopeuden  $c$  välillä on yhteys

$$f = \frac{c}{\lambda},$$

missä  $c = 343 \text{ m/s}$ , kun ilman lämpötila on  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tämän kaavan avulla saadaan aallonpituudeksi 1000 hertsillä 0,34 m ja vastaavasti 100 hertsillä 6,8 m. Äänen etenemiseen vaikuttaa ainoastaan ääniaallon pituuden suuruusluokaltaan olevat esteet.

(2 s. 13.)

Ihminen voi kuulla ääniä, joiden taajuus vaihtelee välillä 20 Hz – 20000 Hz. Taajuusalue on jaettu 11 oktaavikaistaan, joiden keskitaajuudet ovat 16, 31,5, 63, 125, 250 ja 500 Hz sekä 1, 2, 4, 8 ja 16 kHz. Oktaavikaistat voidaan jakaa kolmasosaoktaaveihin, eli terssikaistoihin. Tärinänä voidaan aistia alle 20 Hz taajuudet, joita kutsutaan myös infraääniksi. (1 s. 35) (2 s. 13.)

### 2.1.3 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenpaine on suure, jolla mitataan äänen voimakkuutta ja sen yksikkö on [Pa]. Käytännössä esiintyvät äänenpaineet voivat vaihdella alueella 0,00002 – 200 Pa. Äänenpainetaso on logaritminen äänenpaineen yksikkö [dB], jota voi mitata suoraan äänitasomittarilla. (3.)

Desibeliasteikko on otettu käyttöön, koska värähtelyjen aiheuttamat ilmanpaineet vaihtelut ovat hyvin pieniä staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Sillä voi esittää erilaiset äänenpaineet selkeästi asteikolla, jossa lukuarvot vaihtelevat alueella 0 – 140 dB (vastaavat äänenpaineet 0,00002 – 200 Pa). Taulukossa 1 on esitetty äänenpaineen ja A-painotetun äänenpainetason suhdetta. Äänenpaineen kasvaessa kaksinkertaiseksi, kasvaa äänenpainetaso 6 dB. Toisaalta äänenpainetason kasvu 20 dB:llä tarkoittaa äänenpaineen kasvamista 10-kertaiseksi. (1 s. 36) (2, Liite 1, ss. 7-8.)

**Taulukko 1 Esimerkkiääniä A-painotettuna äänitasona [dB] ja äänenpaineena [Pa] (2 s. 8).**

Esimerkkiääni	A-äänitaso [dB re 20 $\mu$ Pa]	Äänenpaine [Pa]
Lähellä suihkumootoria (3 m etäisyydellä)	140	200
Kipukynnys <sup>1)</sup>	130	63
Rock-konsertti	120	20
Moottoripyörä kiihdytyksessä (5 m etäisyydellä)	110	6,3
Paineilmavasara (2 m etäisyydellä)	100	2
Meluisa tehdas	90	0,63
Pölyimuri	80	0,2
Vilkas liikenne	70	0,063
Kahden henkilön keskustelu	60	0,02
Hiljainen ravintola	50	0,006 3
Asuntoalue yöllä	40	0,002
Tyhjä elokuvateatteri	30	0,000 63
Lehtien kahina	20	0,000 2
Ihmisen hengitys (3 m etäisyydellä)	10	0,000 063
Tarkkakuuloisen henkilön kuulokynnys	0	0,000 02

1) Kipukynnyksen taso vaihtelee. Voimakkaat äänet aiheuttavat normaalikuuloisella kiputunteituksen, kun A-äänitaso on noin 110–130 dB

#### 2.1.4 A-painotus sekä F-aikavakio

Edellisessä luvussa esitetty äänenpainetaso kuvaa fysikaalisen äänenpaineen voimakkuutta. Ihmisen kuuloaisti ei ole kuitenkaan yhtä herkkä koko taajuusalueella, minkä vuoksi on otettu käyttöön erilaisia painotuksia, kuten A-, B, tai C-painotus, joista A-painotus on yleisin. (1 s. 39.)

Joskus puhutaan myös A-suotimesta, jolla tarkoitetaan sillä tehtyä taajuuspainotusta äänenpainetasoon (4 s. 2).

A-painotusta käytetään yleisesti melumittauksissa. Esimerkiksi rakentamismääräyskoelmassa esitetyt enimmäisäänitasot on annettu A-painotettuina (4). A-taajuuspainotetun äänitason merkintä on  $L_A$  (dB) (5 s. 5).

F-aikapainotusta käytetään muun muassa LVIS-laitteiden aiheuttaman hetkellisen enimmäisäänitason mittaamiseen. F (*fast*) -aikapainotusta käytettäessä äänitasomittari ilmoittaa keskiäänitason 250 ms jaksoissa, jonka on todettu vastaavan hyvin kuuloaistin kykyä arvioida lyhytaikaisten äänten voimakkuutta. (4 ss. 2, 5) (1 s. 41.)

Toinen tärkeä aikapainotus on *S (slow)*, jota käytetään muun muassa junien ohiajosta aiheutuvan runkomelun häiriövaikutuksen arvioinnissa (6). Lisäksi käytössä on aikapainotus *I (impulse)*, jota käytetään ampumaratamelun mittaamisessa. (7).

Erittäin suurten äänenpaineiden (vähintään 140 dB) aiheuttaman kuulovaurioriskin arviointiin on kehitetty Peak-huippuilmaisin, joka ei ole varsinainen aikapainotus, vaan antaa käytetyllä taajuuspainotuksella maksimiäänenpaineen (8 ss. 34, 35). Peak on käytössä mm. teollisuuden työpaikkamelun arvioinnissa.

#### 2.1.5 Äänitehotaso

Äänilähteen kykyä tuottaa ääntä ilmoitetaan äänitehona  $W$  [W]. Äänitehotaso ilmoitetaan yleensä oktaavikaistoittain. Äänilähteen äänitehotasosta ei voida suoraan päätellä sen tilaan aiheuttamaa äänenpainetasoa, koska siihen vaikuttaa äänilähteen ympäristö ja etäisyys. (9 s. 33.)

Äänitehotason käsitettä voi parhaiten verrata patterin lämmitystehoon. Samalla tavalla kuin huoneen lämpötilaan vaikuttaa lämmitystehon lisäksi mm. rakenteiden tiiveys ja lämmöneristävyys (huoneen häviöt) ja mittauspaikan valinta esim. ikkunan tai lattiarajan kohdalla, äänenpainetasoon vaikuttaa äänitehotason lisäksi mm. etäisyys äänilähteestä, huoneen tilavuus ja absorptioala (huoneen häviöt).

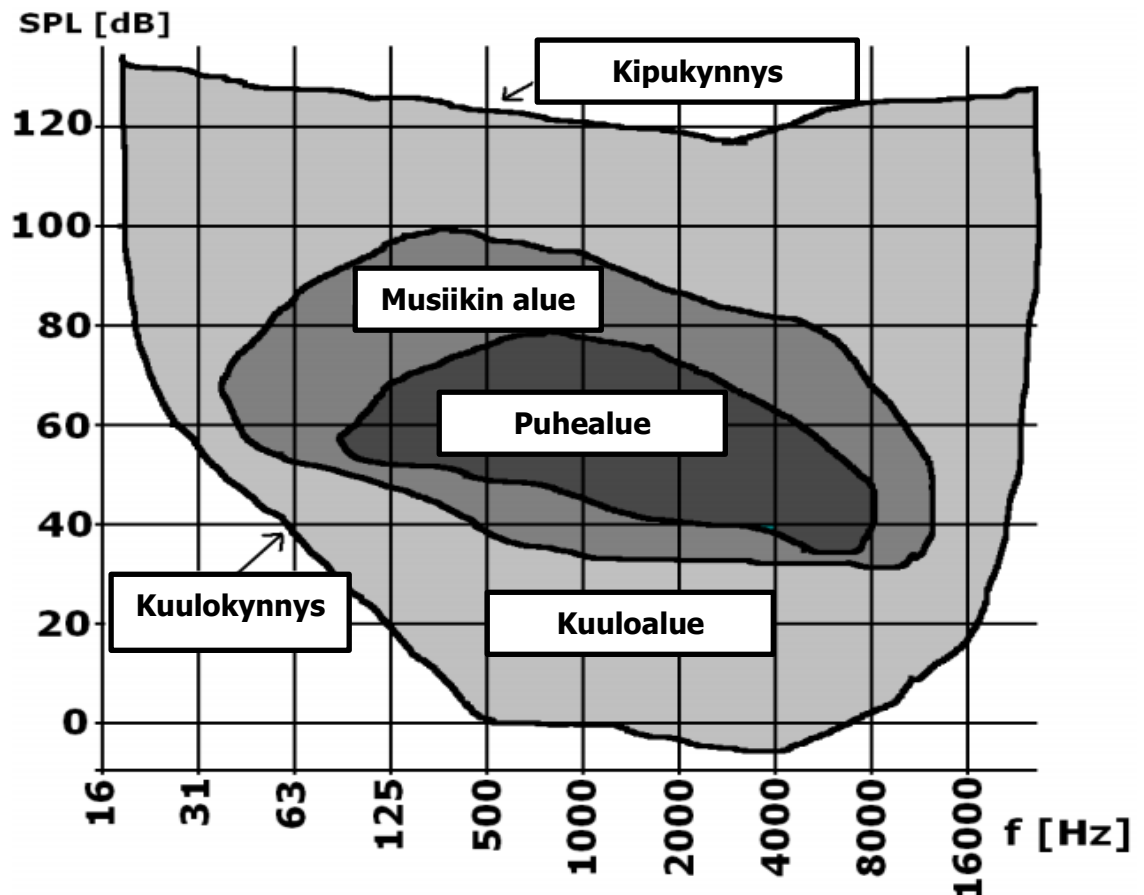
#### 2.2 Ihmisen kuuloaisti

Kuuloaistimus syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään (1 s. 13).

Miesten ääni koetaan matalampana kuin naisten, koska miehen äänen perustaajuus on noin 120 Hz ja naisen noin 250 Hz. Ihmisen puhe muodostuu kuitenkin erilaisista ääniteistä ja niiden yhdistelmistä, joiden muodostamiseen tarvitaan huomattavasti korkeampia taajuuksia, joten äänen taajuus vaihtelee puheen aikana jatkuvasti. (10.)

Ihmisen kuulon herkkyys ei ole vakio, vaan riippuu äänen taajuudesta. Kuvassa 1 näkyy ihmisen kuulokynnys, kipukynnys, normaali puhealue, kuuloalue ja musiikin alue äänen taajuuden ja voimakkuuden mukaan. Ihmisen kuulon herkkyys on parhaimmil-

laan taajuuksien 500 – 8000 Hz välillä, joiden ulkopuolella kuulokynnys kasvaa. Toisaalta kipukynnys on noin 120 dB kohdalla taajuudesta riippumatta.



Kuva 1 Ihmisen kuulokynnys taajuuskaistoittain (11).

## 2.3 Äänen eteneminen ja vaimeneminen

### 2.3.1 Leviämisvaimennus ulkona

Pistemäisen äänilähteen aiheuttama äänenpainetaso voidaan laskea äänitehotason perusteella halutulla etäisyydellä  $r$  kaavalla

$$L_p = L_w - 10 \log_{10} \frac{\Omega r^2}{k},$$

jossa  $\Omega$  on avaruuskulma ja  $k$  on suuntakerroin.

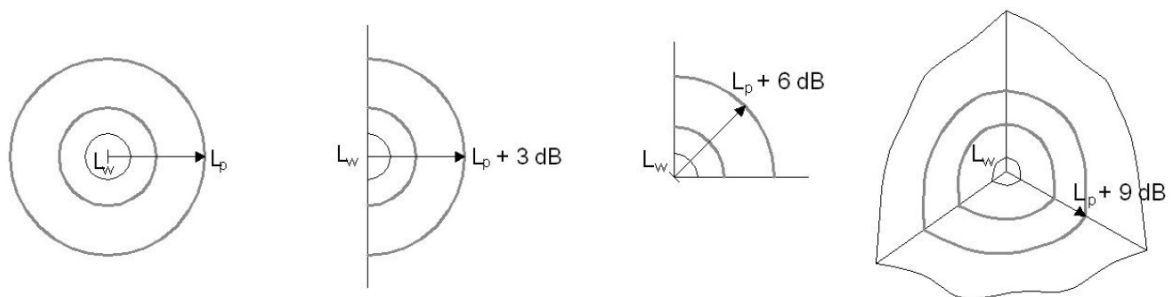
Jos äänilähteen suuntaavuustietoja ei ole saatavilla,  $k = 1$ . Avaruuskulman  $\Omega$  arvo riippuu äänilähteiden sijainnista pintoihin nähden seuraavasti:

- $\Omega = 4\pi$ , kun äänilähde on kaukana pinnoista (savupiippu)

- $\Omega = 2\pi$ , kun äänilähde on seinillä, maassa tai katolla (nestejäähdytin liiketilan katolla)
- $\Omega = \pi$ , kun äänilähde on kahden tasopinnan kulmassa
- $\Omega = \frac{\pi}{2}$ , kun äänilähde on kolmen tasopinnan nurkassa

(1 ss. 43-45.)

Täten äänilähteen aiheuttama äänenpainetaso kasvaa aina 3 desibelillä äänilähteen äänitehon jakautuessa puolet pienemmälle pinta-alalle, mikä on esitetty kuvassa 2.



**Kuva 2 Avaruuskulman vaikutus äänenpainetasoon vapaassa kentässä (12 s. 28).**

Myös sääolosuhteiden muutokset voivat vaikuttaa äänen etenemiseen ulkona, kun äänilähteen ja kohteen etäisyys ylittää 30 metriä. Mikäli äänitasomittauksia tehdään ulkona yli 30 metrin etäisyydellä äänilähteestä, tulee sääolosuhteiden vaikutus huomioida esimerkiksi tekemällä useita toisistaan riippumattomia mittauksia. Tuloksen epävarmuus voi olla 30 metrin etäisyydellä 2 dB, 100 metrillä 4 dB ja 500 metrillä jopa 7 dB. (2, Liite 1, s. 19.)

### 2.3.2 Absorptio

Äänen absorptiolla tarkoitetaan äänen imeytymistä huokoiseen materiaaliin, jossa se muuttuu kitkan ansiosta lämmöksi. Tätä äänen imeytymistä sanotaan myös äänen absorboitumiseksi. Absorptiomateriaalissa tulee olla avosoluisia huokosia, joihin ääni pääsee ulkopuolelta etenemään. (2 s. 48.)

Absorptiokerroin  $\alpha$  (tai absorptiosuhde) ilmaisee pinnan absorboiman ja siihen osuvan äänitehon suhteen ja vaihtelee 0 – 1 eri taajuuksien välillä. Täysin heijastavan pinnan  $\alpha = 0$  ja täysin vaimentavan  $\alpha = 1$ .

Absorptioala on huoneessa olevan absorptiomateriaalin kokonaismäärä neliömetreinä. Yhden huoneessa olevan materiaalin absorptioala on materiaalin absorptiosuhteen ja sen pinta-alan tulo ja se merkitään [ $m^2 - Sab$ ]. (1 s. 49.)

Materiaalin paksuus ja sen takana oleva ilmaräily vaikuttaa siihen, kuinka pitkiä ääniaaltoja se pystyy vaimentamaan. Seinän pinnalle asennettu absorptiomateriaali vaimentaa tehokkaasti ääniaaltoja, joiden aallonpituus on neljä kertaa absorptiomateriaalin paksuus. Siksi seinän pintaan asennetut ohuet akustiikkalevyt eivät juuri vaimenna matalia taajuuksia. (2 s. 14.)

Taulukossa 2 on esitetty eri materiaalien absorptiosuhteita.

**Taulukko 2 Materiaalien absorptiosuhteita (2, Liite 1, s. 25).**

Materiaali	Absorptiosuhde $\alpha$					
	Oktaavin keskitaajuus [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Mineraali- tai lasivilla tiheys 20-100 kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
kiinni taustassa, 2 cm	0,04	0,07	0,18	0,43	0,80	1,00
" 3 cm	0,08	0,16	0,36	0,71	0,96	0,95
" 4 cm	0,11	0,19	0,55	0,87	0,97	0,95
" 5 cm	0,21	0,31	0,76	0,90	0,92	0,96
" 6 cm	0,24	0,41	0,78	0,91	0,92	0,97
" 7 cm	0,25	0,41	0,82	0,97	0,94	0,97
" 8 cm	0,26	0,52	0,84	0,93	0,95	0,97
" 9 cm	0,37	0,60	0,84	0,87	0,96	0,98
" 10 cm	0,43	0,64	0,85	0,88	0,96	0,99
Lasivilla 50 mm (60 kg/m <sup>3</sup> ), pääll. Al-foliolla	0,45	0,51	0,95	0,92	0,67	0,57
Seinälaatoitus	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Vaneripanelointi, 1 cm	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
Ikkuna, tyypillisesti	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Teräs- tai alumiinilevy	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Vedenpinta	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03



### 2.3.3 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla  $T$  [s] tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa äänitaso laskee 60 dB äänilähteen lopetettua toimintansa. Tilan jälkikaiunta-aika riippuu huoneen tilavuudesta, kokonaisabsorptioalasta, sekä absorptiomateriaalin sijoittelusta. Tilassa, jossa pinnat ovat pääosin kovia ja ääntä heijastavia (esimerkiksi kivikirkko), on jälkikaiunta-aika pidempi kuin tilassa, jossa on hyvin paljon ääntä absorboivaa materiaalia (elokuvateatteri). (5 s. 5.)

### 2.3.4 Huonevaimennus

Äänilähteen aloittaessa toimintansa huoneessa havaitsee kuuliija ensimmäisenä suoraan äänilähteestä tulleen äänen. Pian tämän jälkeen korvaan saapuvat heijastukset seinistä, katosta ja lattiasta. Heijastuvat äänet korottavat äänenpainetasoa verrattuna suoraan tulleen äänen äänenpainetasoon. Mitä enemmän tilassa on vaimentavaa materiaalia, joka lisää huonevaimennusta, sen pienempi äänenpainetaso on.

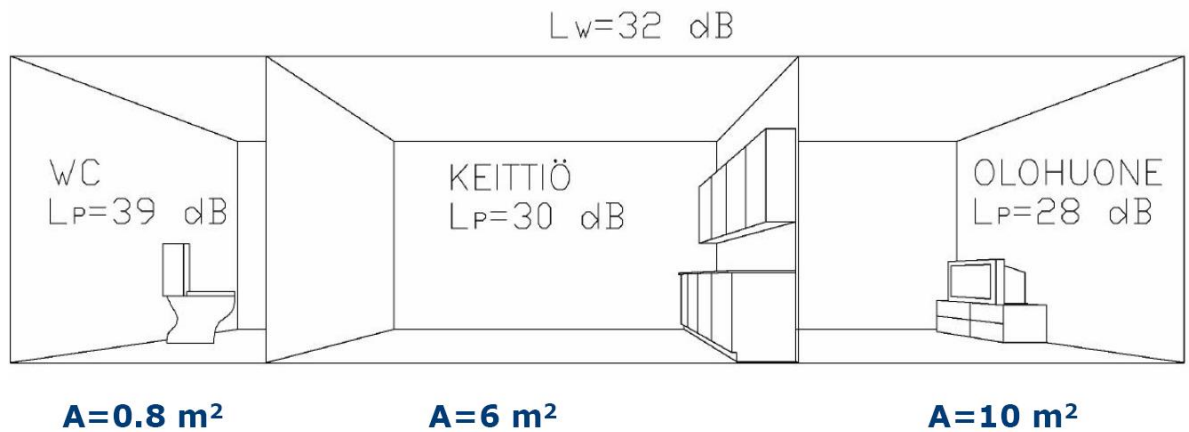
Kun äänilähteen huoneeseen aiheuttaman äänenpainetasoa määritetään, oletetaan huoneen äänikenttä diffuusiksi. Diffuusissa äänikentässä äänilähde tuottaa yhtä paljon ääntä kaikista suunnista vaikka tarkastelupistettä tilassa vaihdettaisiin.

Äänenpainetaso riippuu absorptioalasta seuraavasti:

$$L_p = L_w - 10 \log_{10} \frac{A}{4}$$

(9 ss. 41, 42).

Huonevaimennuksen käytännön merkityksen näkee kuvassa 3, jossa jokaiseen tilaan on sijoitettu äänilähde, jonka äänitehotaso on  $L_w = 32$  dB. Huoneisiin syntyvä äänenpainetaso vaihtelee huoneen absorptioalan mukaan.



Kuva 3 Huonevaimennuksen käytännön merkitys (12 s. 34).

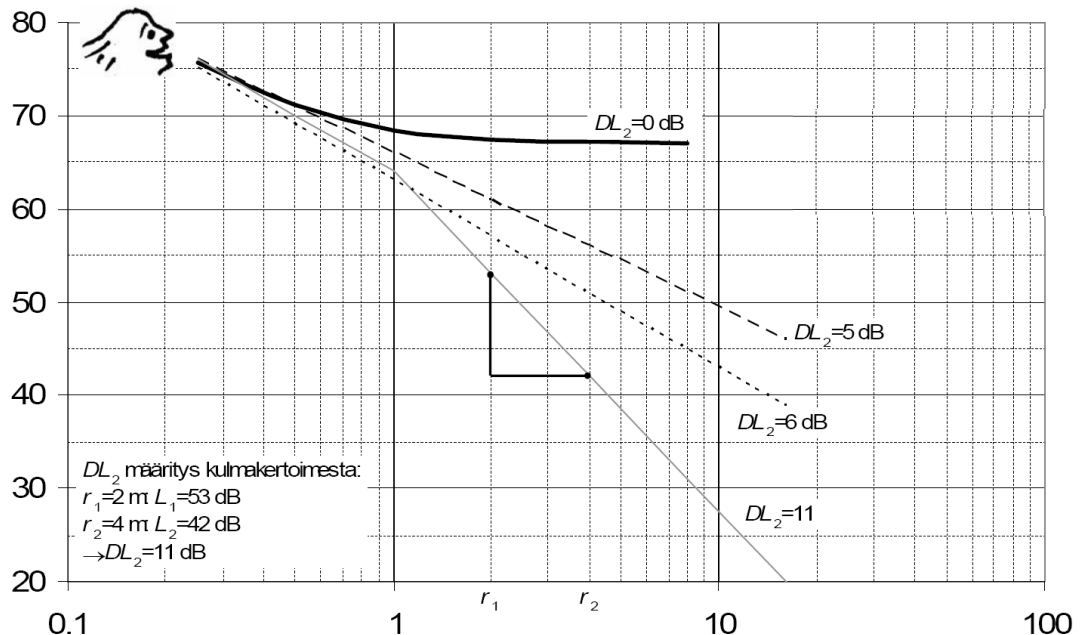
### 2.3.5 Leviämisvaimennus sisällä

Kun halutaan arvioida äänen leviämistä sisällä tietyllä etäisyydellä äänilähteestä, tulee huomioida äänilähteen äänitehotaso, suuntaavuus, sijainti pintoihin nähden ja huoneen absorptioala. Kun huoneen äänikenttä on diffuusi, voidaan äänitasoa arvioida yhtälöllä

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left( \frac{k}{\Omega r^2} + \frac{4}{A} \right).$$

Kuvassa 4 on esitetty puheen leviämisvaimennus huoneakustiikaltaan erilaisissa ympäristöissä.

Puheen äänitaso  $L_A$  [dB]



Kuva 4 Puheen (esimerkissä  $L_w = 71 \text{ dB}$ ) leviämisvaimennus erilaisissa ympäristöissä.  $DL_2$  arvo kertoo vaimennuksen desibeleinä, kun etäisyys äänilähteestä kaksinkertaistuu.

(1 ss. 52, 53.)

## 2.4 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä eristää puheen, musiikin, soitinten, äänentoiston tai teknisten laitteiden aiheuttamaa ääntä. Ilmaääneneristävyys  $R$  [dB] määritellään rakenteen kohdanneen äänitehon  $W_1$  ja sen toiselle puolelle siirtyneen äänitehon  $W_2$  suhteen perusteella

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2}.$$

Määritelmä tarkoittaa, että mikäli ilmaääneneristävyys on 10 dB, välittyy yksi kymmenesosa rakenteen kohdanneesta äänitehosta rakenteen toiselle puolelle.

### *Ilmaääneneristysluku*

Ilmaääneneristysluku on yksilukuarvo, joka saadaan vertailemalla taajuuskaistoittain mitattuja ilmaääneneristävyyksiä standardoituun vertailukäyrään. Merkintä  $R_w$  tarkoittaa laboratoriossa mitattua arvoa, ja  $R'_w$  rakennuksessa mitattua.

(9 s. 47) (5 s. 6.)

Laboratoriossa ääni siirtyy tilasta toiseen vain mitattavan rakenteen läpi. Rakennuksessa ääni siirtyy tilasta toiseen erottavan rakenteen lisäksi sivuavia rakenteita pitkin sivutiesiirtymänä ja joskus myös muita reittejä (kuten IV-kanavia) pitkin.

### *Massalaki*

Massalain mukaan ilmaääneneristävyys kasvaa 6 dB rakenteen massan tai taajuuden kaksinkertaistuessa. Massalaki pätee ohuilla levyrakenteilla koinsidenssitaajuuden puolikkaaseen saakka eli käytännössä pienillä ja keskisuurilla taajuuksilla. Paksujen ja tiheiden kivrakenteisten seinien koinsidenssin rajataajuus sijoittuu alle 100 hertsiin, joten ilmaääneneristävyys kasvaa lähes massalain mukaan yleensä mittauksissa kiinnostavalla 100 – 3150 Hz alueella. (1 ss. 70-84.)

### *Koinsidenssitaajuus*

Kiinteässä aineessa ääni etenee useina värähtelyn aaltomuotoina kuten pitkittäis-, poikittais-, vääntö- tai taivutusaaltona (2, Liite 1, s. 17).

Taivutusaallon etenemisnopeus levyssä riippuu äänen taajuudesta. Koinssidenssitaajuulla taivutusaallon etenemisnopeus levyssä on yhtä suuri kuin äänen nopeus ilmassa (noin  $340 \text{ m/s}$ ). Koinssidenssin vallitessa suurin osa ääniaallon energiasta siirtyy levy-materiaalissa etenevään taivutusaaltoon, joka vuorostaan aiheuttaa äänen säteilyä levyn toiselle puolelle. Tämä ilmiö heikentää ääneneristävyyttä verrattuna siihen, mitä se olisi massalain mukaan. (2, Liite 1, s. 28.)

## 2.5 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyys kuvaa runkoäänen siirtymistä kahden tilan välillä. Runkoääniä ovat rakenteisiin kohdistuvat iskut, kuten kävely ja esineiden putoaminen. Runkoääni on runkorakenteessa etenevää mekaanista värähtelyä, josta osa säteilee ympäröivään tilaan ilmaääneksi, ja on sitä kautta kuultavissa viereisissä tiloissa.

Askelääneneristävyys määritellään äänenpainetasona, jonka rakenteeseen kohdistuva vakiovoima aiheuttaa toiseen huonetilaan. Rakenteen askelääneneristävyys on siis sitä parempi, mitä alhaisempi äänenpainetaso toisessa tilassa on.

Yleensä ilmaääneneristävyydestä puhuttaessa tarkastellaan äänen etenemistä viereisiin tiloihin. Askel- tai runkoääni taas voi edetä pitkiä matkoja, koska mekaaninen värähtely vaimenee vähän edetessään rakenteissa. Tästä käy hyvänä esimerkkinä se, kun naapuri poraa kantaviin rakenteisiin, joka voi kuulua rakennuksen toiseen päähän.

(2 s. 14) (13 s. 24.)

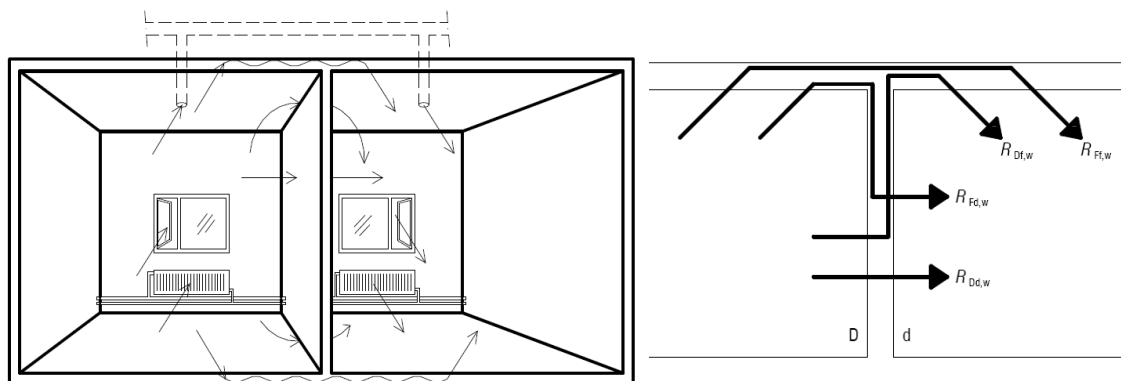
### *Askeläänitasoluku*

Askeläänitasoluku on yksilukuarvo, joka saadaan vertailemalla taajuuskaistoittain mitattuja askeläänitasoja standardoituun vertailukäyrään. Merkintä  $L_{n,w}$  tarkoittaa laboratoriossa mitattua arvoa, ja  $L'_{n,w}$  rakennuksessa mitattua.

## 2.6 Sivutiesiirtymä

Sivutiesiirtymällä tarkoitetaan yleisesti kaikkea äänen siirtymistä, joka tapahtuu tilojen välillä muun kuin tiloja suoraan erottavan rakenteen läpi (1 s. 106).

Rakennuksessa mitattu ilmaääneneristysluku (tai askeläänitasoluku) on käytännössä aina alhaisempi, kuin tiloja erottavan rakennusosan laboratoriossa mitattu arvo  $R_w$  (tai  $L_{n,w}$ ), koska ääni siirtyy myös muiden rakenteiden kautta sekä LVIS-järjestelmien kanavien, putkien ja johtojen sekä mahdollisten rakojen ja reikien kautta. Kuvassa 5 on esitetty äänen siirtymäreittejä rakennuksessa.



**Kuva 5 Äänen siirtymäreittejä rakennuksessa (13 s. 13).**

Rakenteellisilla sivutiesiirtymillä tarkoitetaan niitä äänen kulkeutumisreittejä, joissa on osallisena vähintään yksi huoneita sivuava rakenne. Ilmaääneneristävydestä puhuttaessa on aina huomioitava sivutiesiirtymät, koska tilassa toimiva äänilähde saa kaikki tilaa rajaavat pinnat värähtelemään. Ilmaäänien aiheuttama värähtely etenee rakenteissa runkoäänenä äärettömän monen reitin kautta. Askelääneneristävyden kannalta sivutiesiirtymät voivat olla jopa ratkaisevammassa osassa, koska askelääni etenee runkoäänenä rakennuksessa ja vaimenee hitaasti edetessään.

Runkoäänien energia jakaantuu aina rakenneosien liitoskohdissa. Energian jakaantuminen riippuu rakenneosien massasta sekä liitosten jäykkyydestä. Rakenteellista sivutiesiirtymää voidaan estää myös tekemällä rakenteisiin saumoja ilma-, mineraali- tai kumikerroksilla. Saumat tulee tehdä siten, että rakenneosat ovat koko liitospituudeltaan irti.

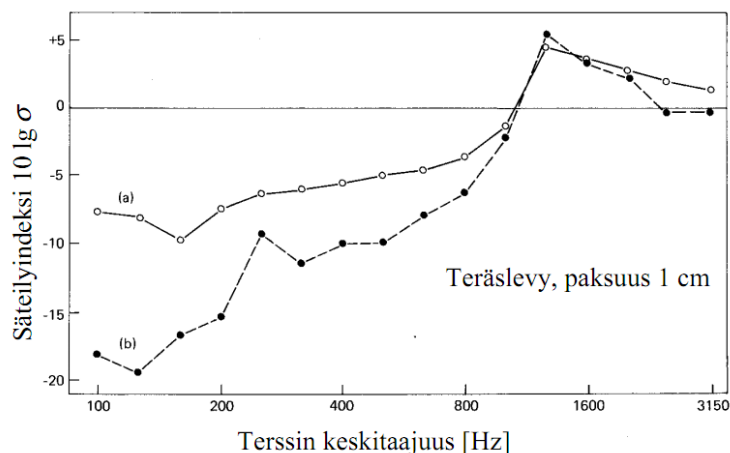
(13 ss. 13-18.)

Äänen sivutiesiirtymät voivat heikentää tilojen välistä ilma- tai askelääneneristävyyttä hyvinkin voimakkaasti, mikäli niitä ei huomioida jo suunnittelu- tai toteutusvaiheessa. Kun halutaan vähentää melua, on olennaista tuntea äänen siirtotiet mahdollisimman

hyvin, jotta korjaavat toimenpiteet osataan kohdistaa oikeaan rakenneosaan. Jos kahden asunnon alapohjana on ohut betonilaatta, joka jatkuu yhtenäisenä tilasta toiseen, ei tilojen välistä ilmaääneneristävyyttä pystytä saamaan nykymääräysten tasoon pelkästään seinärakennetta parantamalla. Korjaustoimenpide tulisi siis kohdistaa aina pahiten ääntä tilojen välillä siirtävään rakenteeseen.

## 2.7 Säteilykerroin

Säteilykertoimen avulla voidaan kuvata äänilähteen pinnan värähtelyn nopeuden ja sen säteilemän äänitehon välinen yhteys. Säteilykerroin on pienillä taajuuksilla yleensä pienempi kuin 1 ja suurilla taajuuksilla noin 1, mutta saman pinnan säteilykerroin voi vaihdella myös herätetavasta. Jokaisella rakenteella on myös oma taajuus, jolla seinä säteilee ääntä voimakkaasti, jolloin säteilykerroin nousee arvoon 2 (14 s. 18). Teräslevyn säteilykertoimet on esitetty kuvassa 6 säteilyindeksin avulla, jossa (a)-käyrän herätteenä on ilmaääni ja (b)-käyrän herätteenä mekaaninen heräte. Säteilyindeksi on säteilysuhteen kymmenkantainen logaritmi kerrottuna kymmenellä, jolloin yksikkö on desibeli. Säteilyindeksin arvo 0 vastaa säteilykerrointa 1. (2, Liite 1, s. 44-45.)



**Kuva 6 Herätetavan vaikutus säteilykertoimeen (2, Liite 1, s. 44-45).**

Herätetavan lisäksi säteilykertoimeen vaikuttaa pinnan liittymät sivuiltaan muihin rakenteisiin, sekä pinnan dimensiot. Säteilykertoimelle voidaan saada siis monenlaisia arvoja jopa samalle materiaalille, minkä vuoksi tässä työssä on säteilykertoimena käytetty kaikilla taajuuksilla arvoa 1. (15 s. 373.)

### **3 Määräykset ja ohjeet**

Tässä luvussa esitetään oleelliset asuinrakentamisen ääneneristystä ja äänitasoa koskevat määräykset ja ohjeet. Tärkeimpänä voidaan pitää Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa, jossa on annettu määräyksiä tarkkoja teknisiä lukuarvoja, jotka uudiskohteissa tulee täyttää. Rakentamismääräyskokoelman vaatimukset ääneneristävyydelle koskevat lähinnä asuntoja, minkä vuoksi on julkaistu Suomen standardoimisliiton standardi SFS-5907 Rakennusten akustinen luokitus, jossa annetaan ohjeita kattavammin monille erityyppisille tiloille.

Näiden lisäksi on julkaistu muita ohjeita, mm. sosiaali- ja terveysministeriön julkaisema Asumisterveysohje vuodelta 2003, joka käsittelee asiaa melun ihmiselle aiheuttavan haitan kannalta. Ohjeessa annetaan sallitulle äänitasolle ohjeita, ja lisäksi erilaisia korjauskertoimia melun eri tyypeille. Meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi on laadittu Valtioneuvoston päätös 993/1992, jossa annetaan ohjeita ulkona ja sisällä sallituista äänitasoista.

Taulukossa 3 on esitetty tärkeimmät rakentamista koskevat määräykset tilan käyttötarkoituksen mukaan.

**Taulukko 3 Rakentamista koskevat määräykset ja ohjearvot (1 s. 16).**

Tilan käyttötarkoitus	C1	D2	SFS 5907	STM 2003	SIL 2008	VnP 993/92	VnA 85-2006
Asuinhuoneistot	M,O	O	S	T	S	O	
Majoitustilat	O	O	S	T		O	M
Vanhusten palvelutalot	O	O	S	T		O	M
Toimistot	O	O	S	T	S	O	M
Koulut	O	O	S	T	S	O	M
Päiväkodit	O	O	S	T		O	M
Terveystieteiden rakennukset	O	O	S	T	S	O	M
Teollisuustyöpaikat		O	S				M
Liiketilat		O		T		O	
Teatterit, myymälät		O				O	M
Keittiöt, ravintolat		O					M
Urheilutilat, uimahallit, kasarmit		O					M
Kirjastot, näyttelytilat, kirkot		O		T		O	
Laboratoriot, autokorjaamot		O					M
Ympäristömelu piha-alueella	M		S			O	M

C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1:1998 Ääneneristys

D2\* Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2:2010 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto

SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus, Suomen standardisoimisliitto SFS r.y.

STM 2003\*\* Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohje.

SIL 2008 Sisäilmayhdistys ry. Julkaisu 5, Sisäilmastoluokitus, 2008 (LVI 05-10440)

VnP 993/92 Valtioneuvoston päätös 993 melutason ohjeista

VnA 85-2006<sup>x</sup> Valtioneuvoston asetus 85 työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuville vaaroille, 2006

M = sisältää viranomaisen antaman määräyksen lukuarvon

O = sisältää viranomaisen antaman ohjeen lukuarvon

S = suosituslukuarvoja sisältävä dokumentti, voidaan soveltaa ohjeen tavoin sovitessa

T = sisältää terveysvaikutusten kannalta tärkeitä lukuarvoja

\* Sisältää ainoastaan LVIS-äänitasoja.

\*\* Sisältää ainoastaan ympäristöstä kuuluvia kokonaismelutasoja lähteestä riippumatta.

<sup>x</sup> Koskee ainoastaan työtehtäviä, jossa altistutaan voimakkaalle melulle.

### 3.1 Suomen RakMk C1-1998: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1-1998 mukaan pienin sallittu ilmaääneneristysluku  $R'_w$  asuinhuoneistojen välillä on 55 dB. Pienin sallittu ilmaääneneristysluku  $R'_w$  asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi, on 39 dB. Suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen on 53 dB. Lisäksi suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  uloskäytävästä asuinhuoneeseen on 63 dB.

Määräykset koskevat kohteita, joille on haettu rakennuslupaa 1.1.2000 tai sen jälkeen.

(4 ss. 1, 5.)

### 3.2 Suomen RakMk D2-2010: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 käsittelee sisäilmastoon liittyviä asioita. Osassa on annettu määräyksenä, että rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että



rakennuksessa on viihtyisät ääniolosuhteet. Osan liitteessä 1 on annettu taulukon 4 mukaisia ohjearvoja suurimmaksi sallituksi äänitasoksi.

**Taulukko 4 D2-2010 ohjearvot äänitasolle**

<b>Huonetila</b>	<b>Keskiäänitaso <math>L_{A,eq}</math> [dB]</b>	<b>Enimmäisäänitaso <math>L_{A,max}</math> [dB]</b>
Asuinhuoneet	28*	33*
Keittiö	33*	38*
Vaatehuone, varasto	33	38
Kylpyhuone	38	43
WC	33	38
Kodinhoitohuone	33	38
Huoneistosauna	33	38
Porrashuone	38	43
Varastot (yhteiset)	43	48
Pukuhuone (yhteinen)	33	38
Pesuhuone (yhteinen)	43	48
Talosaunan löylyhuone	33	38
Talopesula	43	48
Kuivaushuone	43	48
Askarteluhuone, kerhohuone	33	38

\*RakMk C1-1998 määräys (4).

(16.)

Taulukossa 4 annetuilla ohjearvoilla on merkitystä myös tässä työssä tutkittavalla ACO-seinälle, koska laitteiden aiheuttama tilasta toiseen kulkeutuva runkoääni voi saada rakenteet värähtelemään ääntä ilmaääneksi ja näin ollen kasvattamaan äänitason yhdessä ilmanvaihdon aiheuttaman äänen kanssa liian korkeaksi.

### 3.3 Rakentamismääräyskokoelman tulkintaohje

Rakennustarkastusyhdistyksen (RTY) johtokunta on hyväksynyt 24.4.2009 ehdotuksen rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräysten tulkinnasta. Tulkintaohje on annettu rakennusvalvontoihin, mutta sen soveltamisesta päättää rakennusvalvonta paikalli-

sesti. Ohjeen mukaan yli 60 m<sup>3</sup> kokoisia tiloja mitattaessa, tilavuuden ei laskennassa anneta ylittää em. arvoa. Tämä johtaa siihen, että isoissa huonetiloissa saadut mittaus-tulokset paranevat hieman. (17.)

Mittaustulosten laskennassa tilavuusrajoituksellinen arvo on laskettu Asuinrakennuksen äänitekniikan täydentävän suunnitteluohjeen mukaisesti (13 s. 55).

### 3.4 SFS-5907 Rakennusten akustinen luokitus

Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat asuntoja, ja muita tiloja varten annettu yleisluontoisia ohjeita. Tämän takia on julkaistu standardi SFS-5907, jossa annetaan ohjeita ja teknisiä lukuarvoja erilaisissa rakennustyypeissä tavoiteltavasta ääneneristyksestä, äänitasoista ja huoneakustiikasta.

Standardissa on otettu käyttöön rakennusten akustinen luokittelu, joka jakaa tilat neljään luokkaan A:sta D:hen, joista luokka A on paras. Luokka C on määritelty vähimmäistasoksi, joka uusissa rakennuksissa tulisi saavuttaa. Luokka D koskee lähinnä vanhoja rakennuksia, kun vanhan rakennuksen ominaisuuksia halutaan todentaa mittauksin.

(5.)

### 3.5 RIL 243-kirjasarja

Rakennusten akustisen suunnittelun tueksi on Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry aloittanut kirjasarjan, jonka tehtävänä on toimia akustisen suunnittelun yleisohjeena. Ohjeessa kuvataan, miten akustiikka tulee ottaa huomioon rakennushankkeen eri vaiheissa. Se sisältää suunnitteluohjeita, menetelmiä akustisten vaatimusten asettamiselle ja todentamiselle sekä toteuttamiselle ja kehittämiseksi. Sarjan osat ovat:

- RIL 243-1-2007 Akustiikan perusteet
- RIL 243-2-2007 Oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot
- RIL 243-3-2008 Toimistot
- RIL 243-4-2011 Teollisuustilat
- Suunnitteilla: RIL 243-5 Asunnot
- Suunnitteilla: RIL 243-6 Sairaalat, palvelutalot, päiväkodit

## 4 ACO-kevytsorabetonielementti

ACO-elementit ovat Rakennusbetoni- ja Elementti Oy:n kevytsorabetonista valmistamia ontelorakenteisia seinäelementtejä, joiden leveys on 600 mm ja korkeus vaihtelee normaalien huonekorkeuksien mukaisesti välillä 2500 – 3300 mm. Taulukossa 5 on esitetty vakioelementtien tiedot.

**Taulukko 5 ACO-elementtien vakiokoot (18).**

Tuote	Mitat (mm)	Paino ( $\frac{kg}{kpl}$ )	Seinä ( $\frac{m^2}{kpl}$ )	Pakkaus ( $\frac{kg}{lava}$ )	Reiän $\varnothing$ (mm)	Rw (dB)	Paloluokitus
ACO6825	68x600x2500	93	1,5	10	38	38	EI30
ACO68255	68x600x2550	94	1,53	10	38	38	EI30
ACO6827	68x600x2700	100	1,62	10	38	38	EI30
ACO68278	68x600x2780	104	1,67	10	38	38	EI30
ACO6830	68x600x3000	112	1,8	10	38	38	EI30
ACO9225	92x600x2500	117	1,5	8	62	41	EI60
ACO92255	92x600x2550	119	1,53	8	62	41	EI60
ACO9227	92x600x2700	126	1,62	8	62	41	EI60
ACO92278	92x600x2780	130	1,67	8	62	41	EI60
ACO9230	92x600x3000	140	1,8	8	62	41	EI60
ACO9233	92x600x3300	154	1,98	8	62	41	EI60
ACO12025	120x600x2500	162	1,5	6	62	44	EI120
ACO120255	120x600x2550	165	1,53	6	62	44	EI120
ACO12027	120x600x2700	175	1,62	6	62	44	EI120
ACO120278	120x600x2780	180	1,67	6	62	44	EI120
ACO12030	120x600x3000	194	1,8	6	62	44	EI120
ACO12033	120x600x3300	214	1,98	6	62	44	EI120

Elementit ovat pystysaumoistaan pontattuja, jonka ansiosta ne ovat nopea asentaa. LVIS-tekniikka voidaan asentaa elementtien ontelorakenteen sisälle. ACO-elementtejä käytetään asuin-, liike- ja teollisuustilojen väliseiniin uudis- ja korjausrakentamisessa. Asuinrakentamisessa ACO-elementit tulevat yleisimmin vastaan märkätilojen seinärakenteina.

(19.)

Kuvassa 7 on esitetty asennettuja, mutta vielä tasoittamattomia ACO-elementtejä.



**Kuva 7 ACO-elementtejä työmaalla (20).**

ACO-elementtejä voidaan käyttää myös huoneistojen välisenä seinänä, jota varten on laadittu "Huoneistojen välisen ACO-seinän äänitekninen suunnitteluohje" (21).

## 5 Mittaukset

### 5.1 Mittauskohde

Äänitekniset mittaukset tehtiin vuonna 2011 valmistuvassa betonirakenteisessa asuin-kerrostalossa. Mittauspaikan tuli täyttää seuraavat ehdot:

- Kaikkien mitattavien tilojen tuli olla asuinhuoneita.
- Rakennuksen tuli olla vähintään kolmikerroksinen, koska mittaus tehtiin vastaanottohuoneen yläpuolelta, alapuolelta ja vierestä.
- Vastaanottohuoneen ja sen ylä- ja alapuolella olevien huoneiden tuli olla pohjapiirustukseltaan identtisiä.
- Tilojen tuli olla samassa rapussa ja lähellä toisiaan, koska värähtelymittauksen aikana piti liikkua huoneesta toiseen jatkuvasti.
- Vastaanottotilan yhtenä pintana tuli olla ACO-seinä.
- Lisäksi tilojen tuli olla muodoltaan ”perusratkaisuja”, jotta mittaus voitaisiin tarvittaessa toistaa toisessa kohteessa siten, että tuloksia voitaisiin verrata keskenään luotettavasti.

#### 5.1.1 Työmaakatselmukset

Kun sopiva kohde löytyi paperilla, käytiin kohteessa paikan päällä tutkimassa muita mittausolosuhteita sekä sovittamassa mittaus työmaan aikatauluihin. Mittauksen aikana ei saisi olla satunnaisesti ääntä aiheuttavaa taustamelua, kuten rakentamistyötä, paalutusta tai tieliikennemelua, vaan taustamelutason tulisi olla tasaista. Tämän takia mittaukset sovittiin tehtäväksi yhden viikonlopun aikana.

Lisäksi työmaakäynneillä tarkastettiin, että ACO-seinien asennus ja liittymät muihin rakenteisiin oli tehty suunnitelmien mukaisesti.

#### 5.1.2 Rakennetyypit ja pohjakuva

Mitattujen huonetilojen pääasiallisina rakenteina olivat seuraavat rakennetyypit

AP:

- 265 mm ontelolaatta
- 280 mm lämmöneriste EPS
- >1200 mm tuuletettu ryömintätila
- >300 mm kapillaarisen vedennousun katkaiseva kerros

- suodatinkangas
- perusmaa

VP:

- pintamateriaali (ei vielä asennettu)
- 15 mm tasoite
- 370 mm ontelolaatta

YP:

- 370 mm ontelolaatta

US1, kantava:

- 10 mm rappaus
- 250 mm mineraalivilla
- 150 mm betoni

US2, ei-kantava:

- 10 mm rappaus
- 250 mm mineraalivilla
- 120 mm betoni

VS1, asuntojen välinen kantava seinä:

- 180 mm betoni

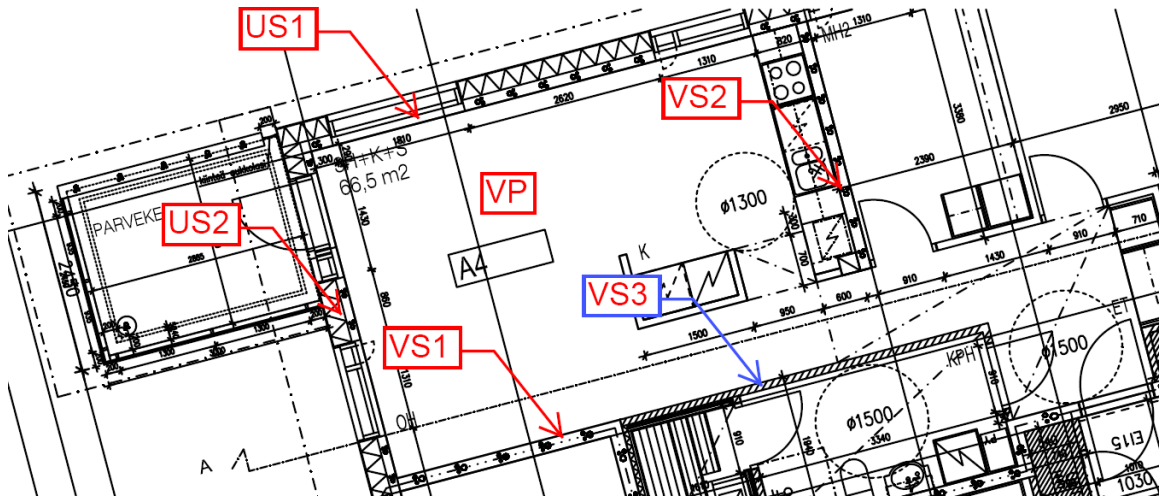
VS2, asuntojen sisäinen kantava seinä:

- 150 mm betoni

VS3, asuntojen sisäiset märkätilojen seinät:

- ACO-seinä 92 mm

Rakennetyypit on esitetty vastaanottotilan A4 pohjakuvassa kuvassa 8. Muiden mitattavien huoneistojen pohjakuvat löytyvät luvussa 5.2.5.



**Kuva 8 Rakennetyypit vastaanottotilan A4 pohjakuvassa**

### 5.1.3 ACO-seinän asennus ja liittymädetaljit

ACO-seinän liittymädetaljit on esitetty liitteessä 5. Työmaalla tehdyissä käynneissä tarkastettiin, että ACO-seinät oli asennettu seuraavasti:

- yläpään liitos DET YP1, jossa yläsauma on täytetty polyuretaanilla, ja kuivan tilan puolella paperinauha.
- alapään liitos DET AP3, jossa ACO-elementit asennettu korkopalojen päälle, jonka jälkeen elementit betonoitu kololaattaan.
- pystysauman nurkkaliitos DET02, jossa kosteantilan puolelle laastitäyttö ja muuten saumaus polyuretaanilla ja paperinauhalla.

## 5.2 Värähtelymittaus

### 5.2.1 Mittauksen suunnittelu

Värähtelymittauksen suunnittelussa ja mittaamisessa käytettiin Nordtest NT Acou 90 -ohjetta. Ohjeessa esitetään kenttämittaustapa, jolla voidaan selvittää värähtelyn siirtyminen kahden rakenteen ja niitä erottavan liittymätyypin välillä. Tässä opinnäytetyössä tehdyssä värähtelymittauksessa noudatettiin ohjeen mittaustapaa tietyin poikkeuksin. Esimerkiksi seuraavissa asioissa poikettiin ohjeesta:

- Pintojen värähtelytasot mitattiin yhdeltä puolelta rakenneosaa. Mittausohjeen mukaan rakenneosan värähtelytasot tulisi mitata kummaltakin puolelta ja laskea tästä keskiarvo. Tätä ei pystytty tekemään, koska mm. kaksi rakenneosaa oli ulkoseiniä, ja seinien toisella puolella olisi joutunut sään ja suuremman taustamelun armoille.
- Rakenteiden jälkikaiunta-aikoja ei mitattu.

- Mittauksessa käytettiin pistemäisen herätteen lisäksi ilmaääntä, joka kohdistuu koko rakenneosan pinta-alalle.
- Runkoääniherätteenä käytettiin askeläänikojetta elektrodynaamisen herätteen sijaan.
- Ilmaäänimittauksessa käytettiin yhtä äänilähteen sijoituspaikkaa (keskellä huonetta) kahden sijaan.
- Mittauksessa ei vaihdettu kiihtyvyyssanturien paikkoja samassa rakenneosassa, kun äänilähteen paikkaa vaihdettiin.

(22.)

### 5.2.2 Esivalmistelut

Värähtelymittauksen suorittamiseksi kohteessa tuli tehdä ylimääräisiä ja väliaikaisia asennuksia, jotta mittausolosuhteet vastaisivat mahdollisimman hyvin valmiin kohteen olosuhteita. Mittausta ei ollut mahdollista suorittaa kohteen valmistumisen hetkellä, koska valmiisiin seinä-, lattia- ja kattopintoihin tuli tehdä asennuksia, joiden korjaaminen olisi aiheuttanut paljon lisäkustannuksia. Lisäksi näiden pintojen korjaamisesta aiheutuvaa aikataulun viivästymistä ei yksinkertaisesti olisi pystytty sovittamaan työmaan aikatauluihin.

#### *Väliaikaiset rakenteiden asennukset*

Mittaus suoritettiin, kun rakennuksen runko oli pystyssä ja sisätyöt aloitettu. Tässä vaiheessa asuinhuoneistoissa ei ollut vielä väli- tai ulko-ovia, jotka olisivat estäneet äänen kulkeutumisen porrashuoneen kautta asunnosta toiseen. Jotta mittauksessa käytettävien äänilähteiden äänet eivät kulkeutuisi asunnosta toiseen porrashuoneen kautta, ja jotta vastaanottotila saataisiin rajattua selkeäksi huonetilaksi, tuli kohteessa tehdä seuraavat asennukset

- Väliaikaiset ulko-ovet asennettiin toisessa kerroksessa sijaitseviin asuntoihin.
- Asunnon A5 makuuhuoneeseen, joka toimi vaakasuuntaisten ääneneristävyyksien mittauksessa lähetystilana, asennettiin siirrettävä vanerilevy, jotta makuuhuone saataisiin rajattua todellista tilannetta vastaavaksi, jolloin tilassa olisi väliovi.



- Ensimmäisen ja kolmannen kerroksen asuntojen ulko-ovien kohdalle asennettiin siirrettävät vanerilevyt, jotka estivät äänen kulkeutumisen porrashuoneen kautta 2. kerroksen vastaanottotilaan.
- Asunnon A4 olohuone- ja keittiöyhdistelmä, joka toimi vastaanottotilana ja oli auki huoneiston eteiseen ja ulko-ovelle saakka, asennettiin keittiön ja eteisen väliin siirrettävä seinä lastulevystä.



**Kuva 9 Väliaikainen ulko-ovi asunnossa A5**

Äänilähteillä tehtyjen koekäyttöjen ja eri pisteissä tehtyjen äänitasomittausten perusteella todennettiin, että koetilanne vastasi todellista käyttötilannetta siten, ettei ilmaääni pääse siirtymään porrashuoneen kautta tilasta toiseen.

#### *Kiihtyvyyssanturien kiinnitys teräslevyihin*

Värähtelymittaus tehtiin kiihtyvyyssantureilla, jotka rekisteröivät hyvinkin pienet värähtelytasot. Anturien kiinnityksessä on tärkeää, että anturit ovat jäykästi kiinni mitatta-

vassa pinnassa. Anturit on mahdollista kiinnittää usealla eri tavalla, esimerkiksi magneetti- tai ruuvikiinnityksellä, mehiläisvahalla tai yksinkertaisesti pitäen kädellä anturi pintaa vasten. Mittauksessa päädyttiin käyttämään magneettikiinnitystä, jonka vuoksi jokaiseen pintaan liimattiin epoksiliimalla 8 kpl 3 mm paksuisia 50 x 50 mm<sup>2</sup> teräslevyjä, jotta antureiden magneeteille saataisiin tasainen ja hyvin pitävä kiinnityspinta. Teräslevyjen kiinnitys pintoihin ja kiihtyvyyssanturin kiinnitys teräslevyihin ovat esitetty kuvissa 10 ja 11.

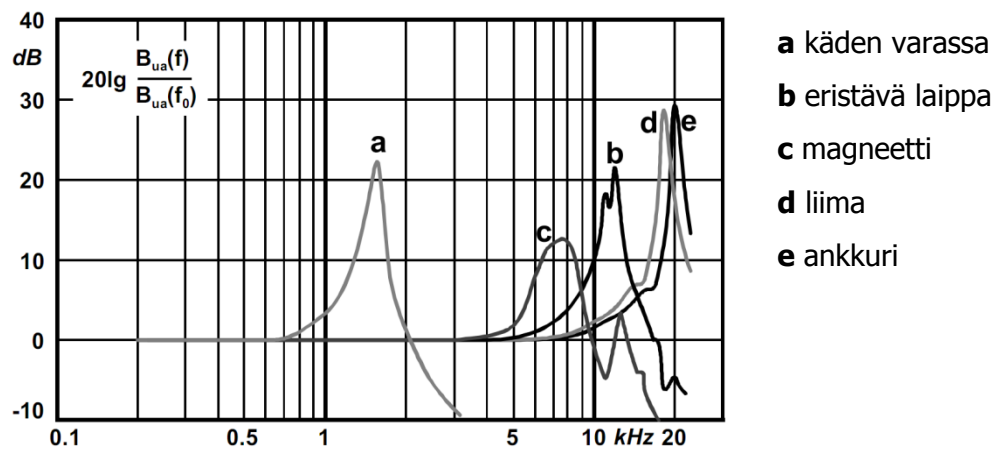


**Kuva 10 Teräslevyjen asennus huoneistojen väliseen seinään. Teräslevyt olivat todella jäykästi kiinni pinnoissa. Oikealla alhaalla kattopinnasta irrotettu teräslevy.**



**Kuva 11 Kiihtyvyyssanturin kiinnitys teräslevyyn**

Kiihtyvyyssanturin ja sen kiinnitystavan tulee antaa tasainen taajuusvaste. Kuvassa 12 on esitetty käyrällä *c* kiihtyvyyssanturin magneettikiinnityksellä saatava taajuusvaste. Taajuusvaste on tasainen noin 4 kHz asti, joka riittää hyvin, sillä yleensä ilma- ja askelääneneristävyyksissä ollaan kiinnostuneita taajuuksista 100 – 3150 Hz.



**Kuva 12 Kiihtyvyyssanturin taajuusvasteet kiinnitystavan mukaan (23).**

#### *Äänilähteiden sijainnin merkitseminen*

Mittauksen aikataulun takia oli välttämätöntä siirtää äänilähteinä toimivia askeläänikojetta ja pallokaiutinta paikasta toiseen ja mitata yhden rakenneosan värähtelyt kerral-

laan. Koska äänilähteen sijainti huoneessa vaikuttaa tietystä pinnasta mitattuun värähtelytasoon, ja tarkoituksena oli vertailla saman äänilähteen aiheuttamia värähtelytasoja eri pinnoissa, tuli betonilattialle merkitä äänilähteiden paikat. Tällöin mittaustulosten saamiseksi oli mahdollista mitata yhden tietyn pinnan värähtelytasot kerrallaan siirtämällä äänilähteitä paikasta toiseen, ja samalla saatiin pidettyä äänilähteet tarkasti omilla paikoillaan, jotta eri pinnoista mitatut värähtelytasot olisivat toisiinsa verrattavissa.

### 5.2.3 Laitteisto

Mittauksessa käytettiin seuraavia laitteita:

- Tarkkuusäänitasomittari Norsonic 118 ja kalibraattori Norsonic 1251
- Askeläänikoje Norsonic 277
- Ympärisäteilevä pallokaiutin Norsonic 270 sekä tehonvahvistin Norsonic 260
- Kohinageneraattori NTi Mr-Pro
- Tiedonkäsittely- ja tiedonkeruulaite (*datalogger*) IMC Dataworks Cronos-PL2
- 7 kpl kiihtyvyyssanturi MMF KS 48B
- 1 kpl kiihtyvyyssanturi MMF KS 813B
- Kiihtyvyyssanturien kalibraattori Kistler 8921 *reference shaker*.

Kuvissa 13 ja 14 on esitetty mittauskalustoa ja mittauksissa käytetyt äänilähteet.



Kuva 13 Mittauskalustoa



**Kuva 14 Askeläänikoje ja ympärisäteilevä pallokaiutin**

#### 5.2.4 Olosuhteet

Mittaus toteutettiin maaliskuussa 2011, jolloin ulkolämpötila vaihteli 0 °C:n molemmin puolin. Rakennus oli tiivis (ikkunat ja ikkunaovet asennettu), ja lämmitys päällä, joten huonelämpötila oli lähellä asuinolosuhteita. Ilman kosteus sisällä oli todennäköisesti korkeampi kuin normaaleissa asumisolosuhteissa rakennuksessa käynnissä olevien taiste- ja maalaustöiden takia.

Rakennuksen ulkopuolelta ei kantautunut sisälle juuri melua, koska kohde oli rakenteilla kokonaan uudelle asuinalueelle. Lisäksi mittaus tehtiin viikonloppuna, jolloin rakennustyöt eivät olleet käynnissä. Ympäristöstä rakennuksen sisälle aiheutuva taustamelutaso mitattiin äänenpainetasona äänitasomittarilla, sekä värähtelytasoina rakenteista kiihtyvyyssantureilla.

#### 5.2.5 Mittauksen kulku

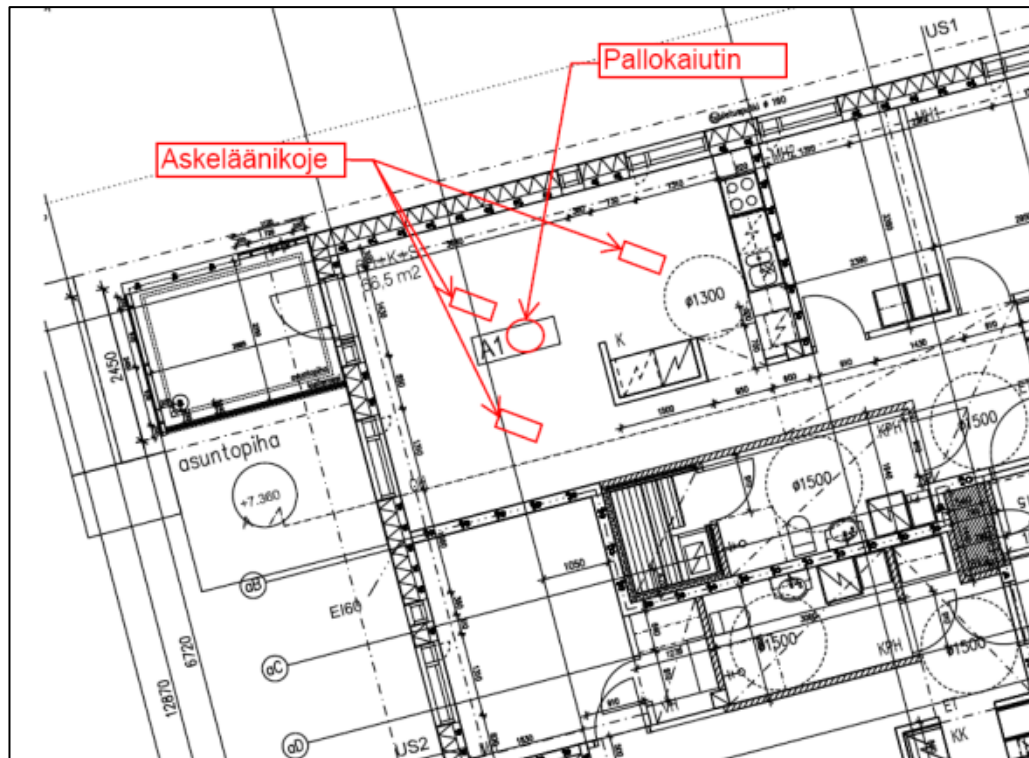
Kun kaikki mittausvalmistelut oli saatu valmiiksi ja mittalaitteet kalibroituja, aloitettiin mittaus syöttämällä huoneiston A5 makuuhuoneen keskelle sijoitettuun pallokaiutti-

meen vaaleanpunaista kohinaa, ja mittaamalla äänilähteen pintoihin aiheutuvaa värähtelyä huoneistojen A4 ja A5 välisestä betoniseinästä. Ennen mittauksia väliaikaiset ovet suljettiin, ja tiloja rajaavat levyrakenteet laitettiin paikoilleen, jotta porraskäytävän kautta kulkeva ilmaääni ei vaikuttaisi mittaustulokseen. Mittauksessa rekisteröitiin 45 sekunnin ajalta värähtelytasot kustakin anturista. Vastaavanlaiset mittaukset tehtiin sijoittamalla pallokaiutin asunnon A9 olohuoneeseen, ja mittaamalla värähtelytasot 45 sekunnin ajalta huoneistojen A4 ja A5 välisestä betoniseinästä. Sitten mittaus toistettiin äänilähteen ollessa asunnon A1 olohuoneessa.

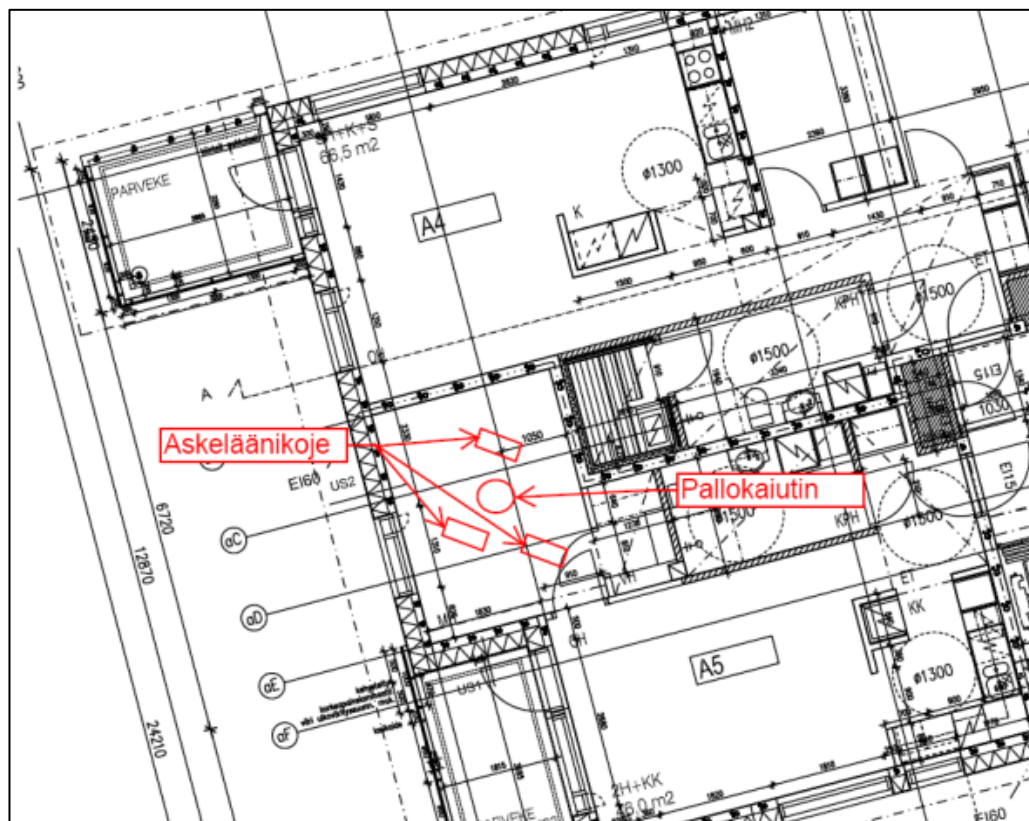
Askeläänikojeen avulla tehdyn mittauksen kulku oli periaatteessa samanlainen, suurimpana poikkeuksena se, että askeläänikojetta käytettiin kolmessa eri pisteessä per lähetystila, kun pallokaiutinta pidettiin yhdessä pisteessä keskellä huonetilaa. Mittaus tehtiin siten, että askeläänikoje asetettiin noin 1 m<sup>2</sup> kokoisen lautaparketista tehdyn mallipalan päälle. Lautaparketin alla käytetyn alusmateriaalin tyyppi oli Upofloor Tuplex 3 mm. Mittaus toteutettiin siten, että askeläänikoje asetettiin koputtamaan lautaparkettia, jonka jälkeen väliaikaiset ovet ja levyt asetettiin paikalleen ja värähtelytasosta otettiin talteen 45 sekunnin mittausjakso. Vastaavanlainen mittaus tehtiin jokaisessa lähetystilassa kolmessa eri mittauspisteessä, joten koputuspaikkoja tuli yhteensä 9 kpl.

Äänilähteiden sijoituspaikat lähetystiloittain on esitetty kuvissa 15, 16 ja 17.

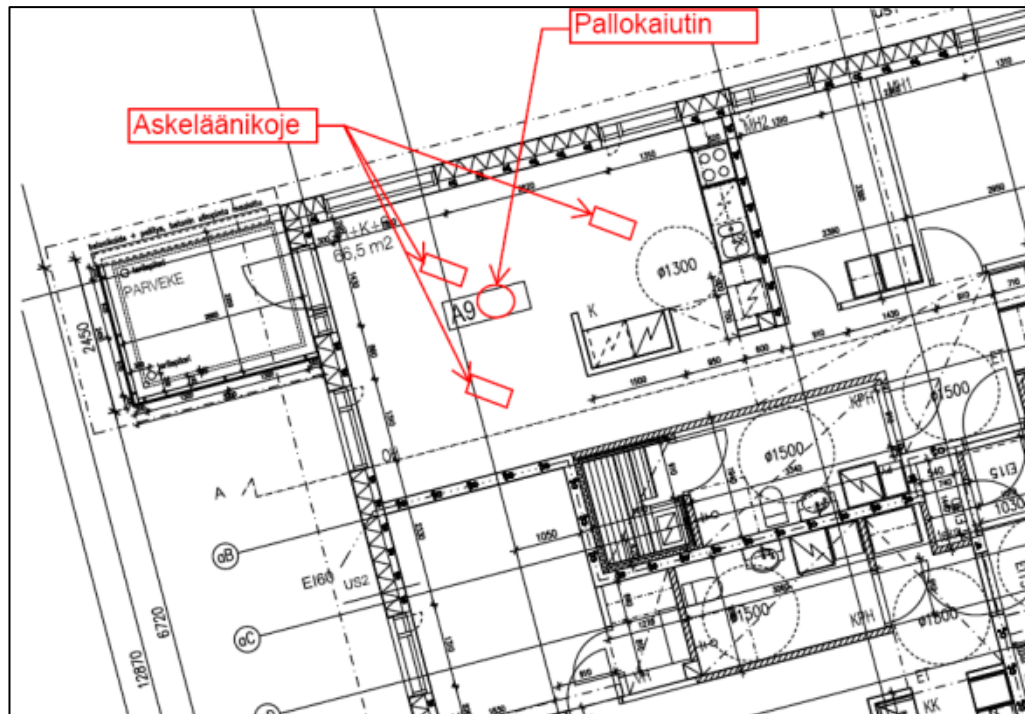




Kuva 15 Äänilähteiden sijoitus, 1.krs. Mittaussuunta alhaalta ylöspäin.



Kuva 16 Äänilähteiden sijoitus, 2.krs. Mittaussuunta vaakaan.



**Kuva 17 Äänilähteiden sijoitus, 3.krs. Mittaussuunta ylhäältä alaspäin.**

Kun yhden pinnan värähtelytasot saatiin mitattua kaikilla mittauspisteillä ja kummallakin äänilähteellä, asennettiin kiihtyvyyssanturit toiseen mitattavaan pintaan, ja vastaavat 45 sekunnin mittausjaksot otettiin talteen jokaisesta eri äänilähteen paikasta. Näin käytiin läpi kaikki vastaanottotilan pinnat, eli asunnon A4 olohuone- ja keittiöyhdistelmän

- kantava ulkoseinä
- ei-kantava ulkoseinä
- asuntojen välinen betoniseinä
- asunnon sisäinen betoniseinä
- ACO-seinä
- lattia
- katto.

#### 5.2.6 Mittaustulosten laskentatapa

Tässä luvussa esitetään, miten kiihtyvyyksistä on laskettu huoneen kokonaisäänitaso  $L_{p,tot}$ . Luvussa esitetyt kaavat on laskettu loppuun asti taajuuskaistoittain kaistoilla 50 – 5000 Hz, vaikkei sitä ole myöhemmin erikseen mainittu.

Tulosten laskennassa lähdettiin siitä, että kiihtyvyyssantureista saatiin pinnan värähtelyn kiihtyvyydet [g] taajuuskaistoittain ajan funktiona.



### *Kiihtyvyyksien ekvivalenttitaso*

Kiihtyvyystasojen yksikkö muutettiin muotoon  $m/s^2$  kertomalla kiihtyvyydet painovoimalla eli termillä  $9,81 m/s^2$ . Mittaustuloksista laskettiin kiihtyvyyksien aikakeskiarvo, jonka jälkeen eri mittauspisteistä saaduista tuloksista laskettiin paikkakeskiarvo.

### *Kiihtyvyyden muuttaminen nopeudeksi*

Kiihtyvyyksisarvoista saatiin laskettua nopeus, koska niillä on yhteys

$$a = \omega v = 2\pi f v, \text{ eli}$$

$$v = \frac{a}{2\pi f},$$

missä  $v$  on nopeus,  $a$  kiihtyvyys ja  $f$  äänen taajuus.

(2, Liite 1, s. 40.)

### *Pinnan säteilemä akustinen teho*

Kun värähtelynopeus tunnetaan, saatiin pinnan säteilemä akustinen teho laskettua yhtälöllä

$$P = \rho c \sigma S \langle \overline{v^2} \rangle,$$

missä  $\rho$  on ilman tiheys,  $c$  äänen nopeus ilmassa,  $\sigma$  säteilysuhde,  $S$  säteilevän pinnan ala ja  $\langle \overline{v^2} \rangle$  nopeuden neliön aikakeskiarvon pinta-alakeskiarvo. Merkinnässä yläviiva  $\overline{\quad}$  tarkoittaa aikakeskiarvoa ja kulmasulut  $\langle \quad \rangle$  tarkoittavat pinta-alakeskiarvoa.

(2 ss. 46, 47.)

Kun arvioidaan säteilykertoimeksi  $\sigma = 1$ , ja tiedetään muut arvot, saatiin laskettua eri pinnan säteilemä akustinen teho.

Akustisen tehon yksikkö [W] muutettiin desibeleiksi yhtälöllä

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0},$$

missä vertailuteho  $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$  (2, Liite 1, s. 22).

### *Huonevaimennus*

Huoneen absorptioala selvitetään mittaamalla ensin tilan jälkikaiunta-aika. Kun oletetaan huoneen äänikenttä diffuusiksi, on absorptioalalla, tilavuudella  $V$  [ $\text{m}^3$ ] ja absorptioalalla Sabine kaavan mukainen yhteys

$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$

Kun absorptioala on selville, saadaan huonevaimennus laskettua yhtälöllä

$$D_{huone} = 10 \log_{10} \frac{A}{4}$$

(1 ss. 50-52.)

### *Yhden pinnan aiheuttama äänitaso huoneeseen*

Kun tiedetään pinnan säteilemä akustinen teho ja huonevaimennus, saadaan laskettua tietyn pinnan huoneeseen aiheuttama äänitaso yksinkertaisella erotuksella

$$L_{p,pinta} = L_{w,pinta} - D_{huone}.$$

### *Kokonaisäänitaso*

Kaikkien pintojen yhdessä tilaan aiheuttama äänitaso saadaan yhtälöllä

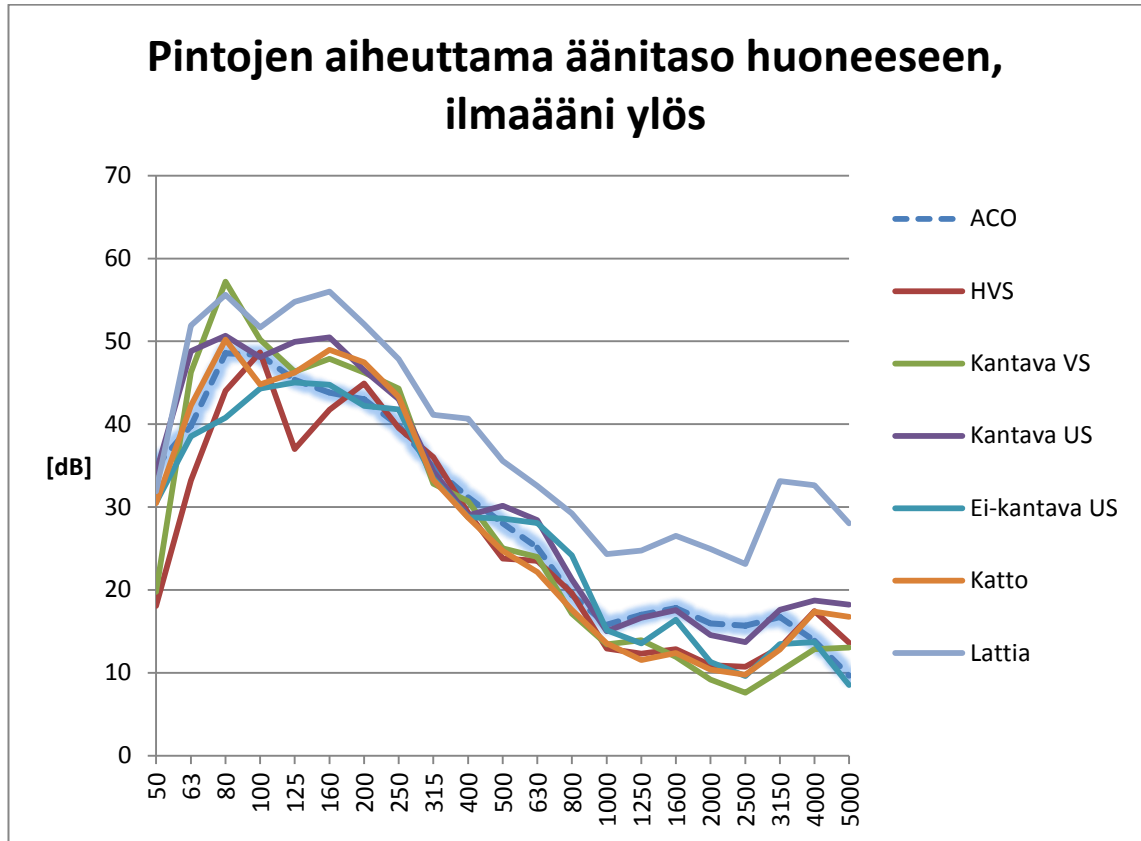
$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10}$$

(1 s. 37)

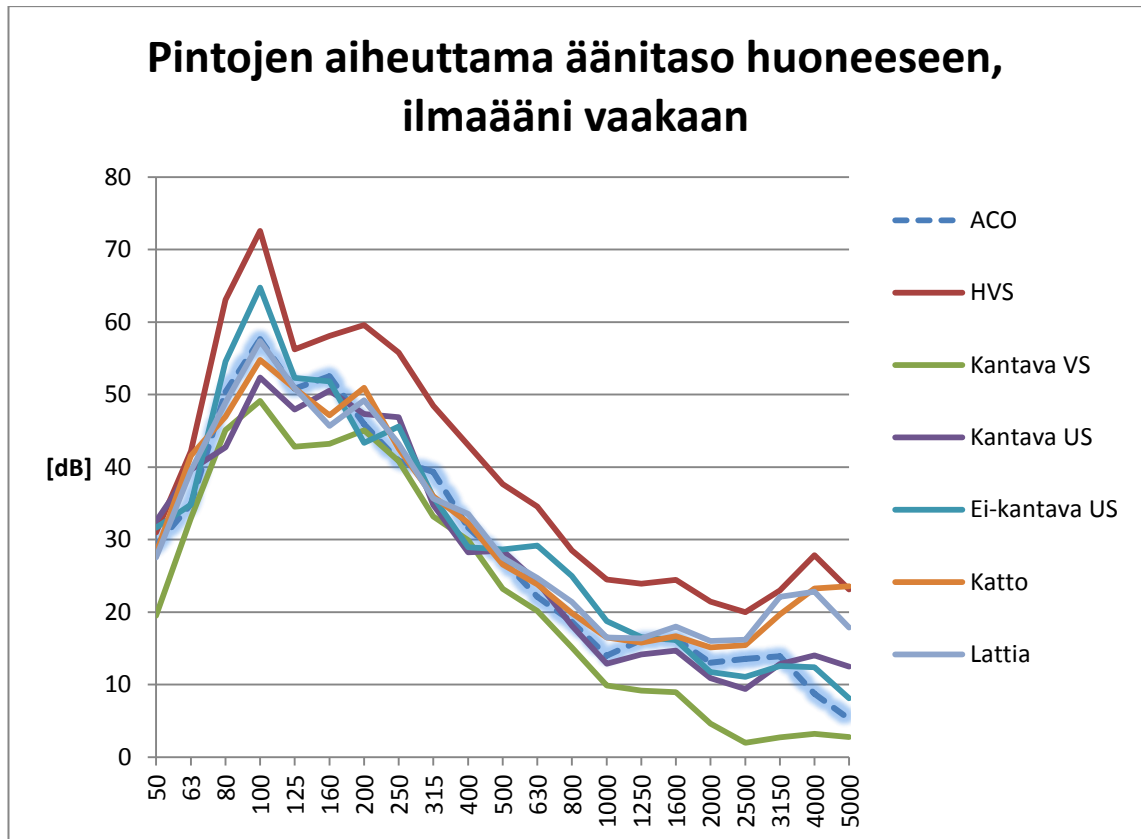
### 5.2.7 Mittaustulokset

Kuvissa 18 – 23 on esitetty jokaisen pinnan aiheuttama äänitaso huoneeseen, eriteltyinä mittaussuunnan ja äänilähteen mukaan. Kuvaajista voidaan todeta, että riippumatta mittaussuunnasta tai äänilähteestä, äänen tärkein siirtymäreitti tilasta toiseen on tiloja erottava rakenteen läpi. Erottava rakenne ei ole kuitenkaan ainoa reitti, vaan ääntä siirtyy myös sivutiesiirtymänä sivuavien rakenteiden kautta. Sivuavien rakenteiden yhteenlaskettu äänitaso pitäisi olla vähintään 10 dB pienempi kuin erottavan seinän aiheuttama äänitaso, jotta sivuavien rakenteiden aiheuttama äänitaso ei kasvattaisi koko-

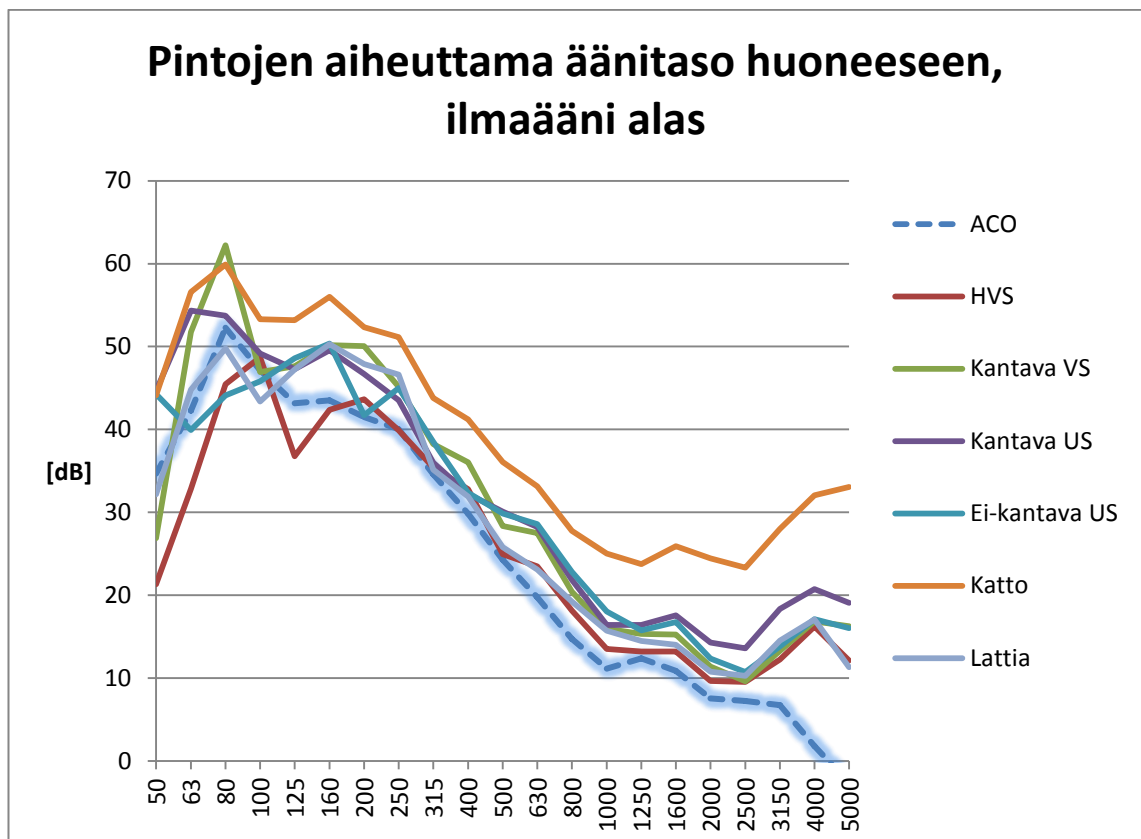
naisäänitasoa huoneessa. Tuloksia on analysoitu tarkemmin luvussa 7. Mittaustuloksista on lisäksi laskettu luvun 5.3 mittausten avulla ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluvut, jotka ovat esitetty liitteissä 1 ja 2. Kuvissa käytetty lyhenne *HVS* tarkoittaa 180 mm betonirakenteista huoneistojen välistä seinää.



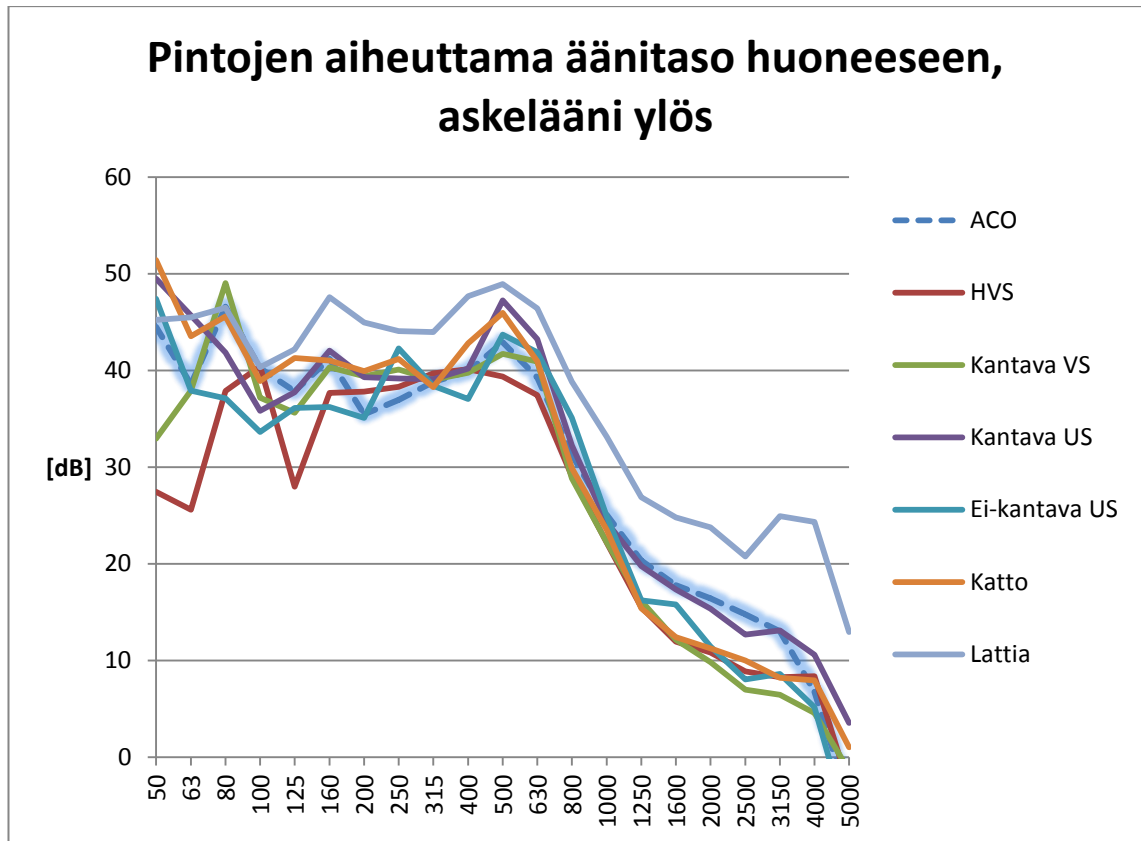
**Kuva 18 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmaääni ylös**



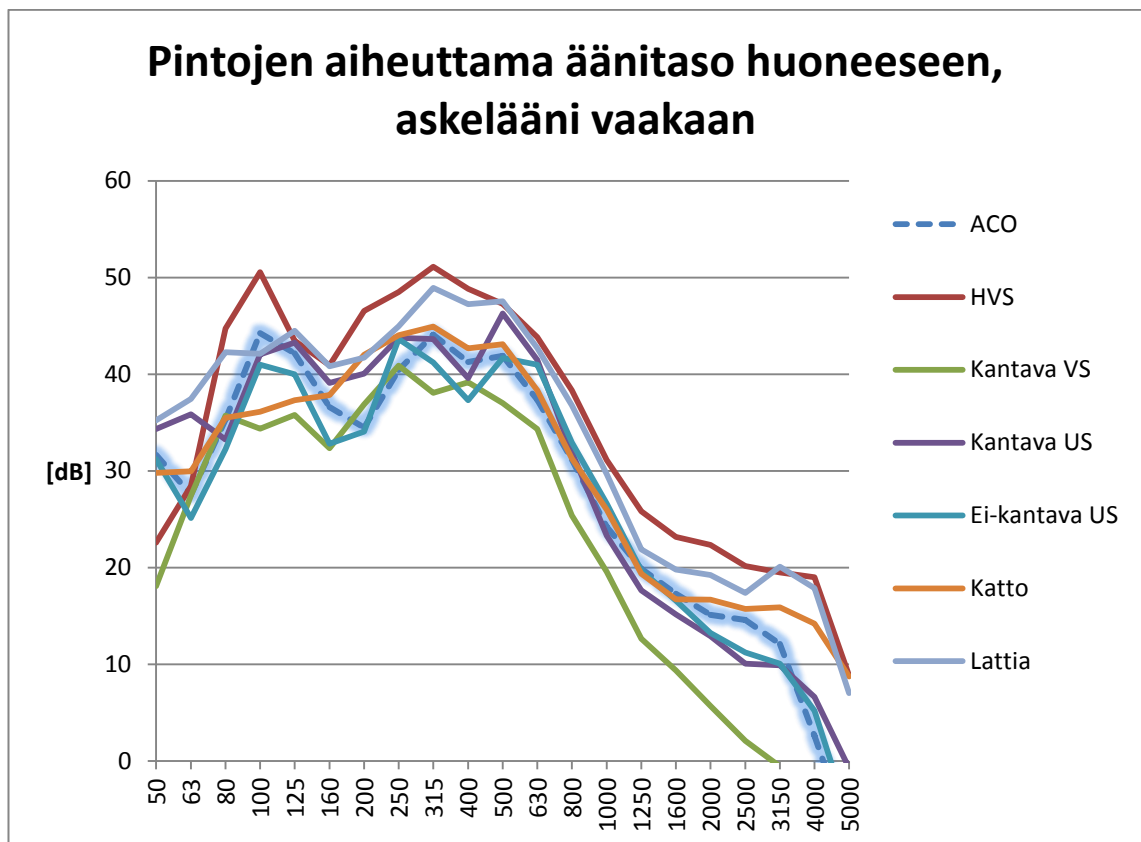
Kuva 19 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmäni vaakaan



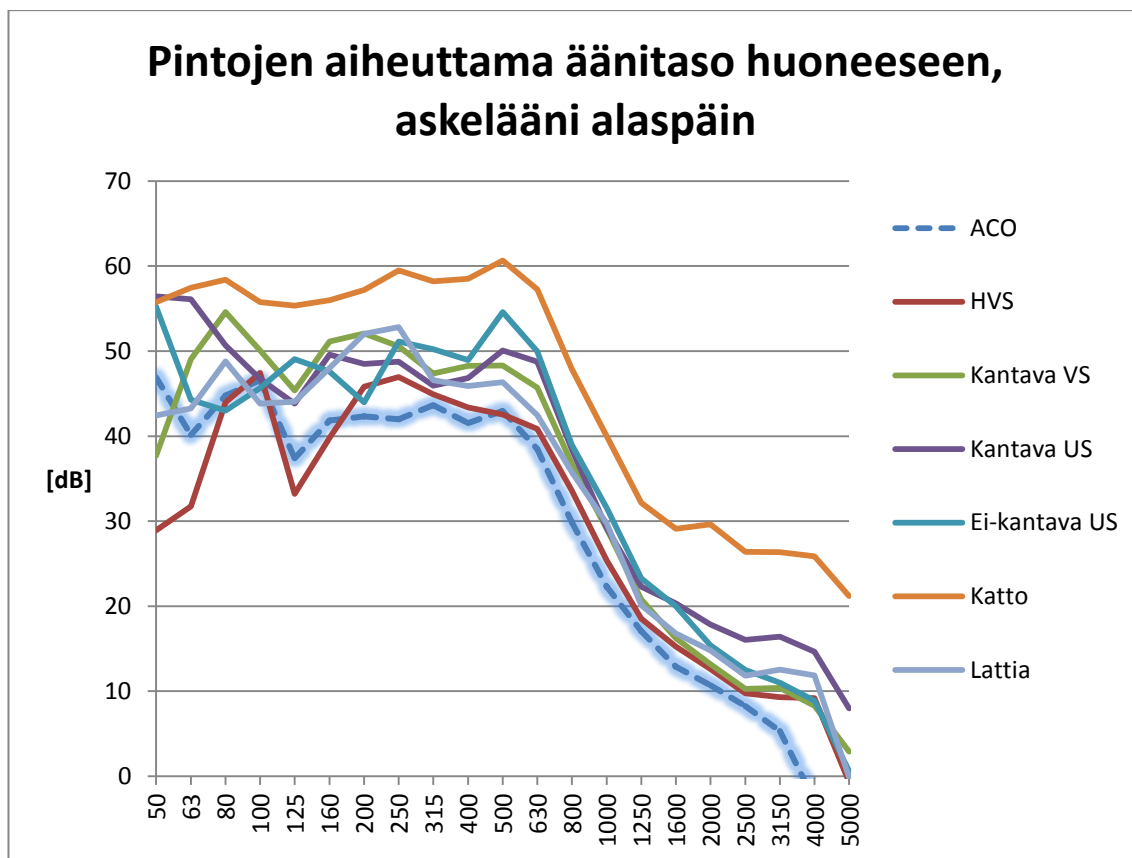
Kuva 20 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmäni alas



Kuva 21 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni ylös



Kuva 22 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni vaakaan



Kuva 23 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni alas

### 5.3 Tarkkuusäänitasomittarilla tehdyt mittaukset

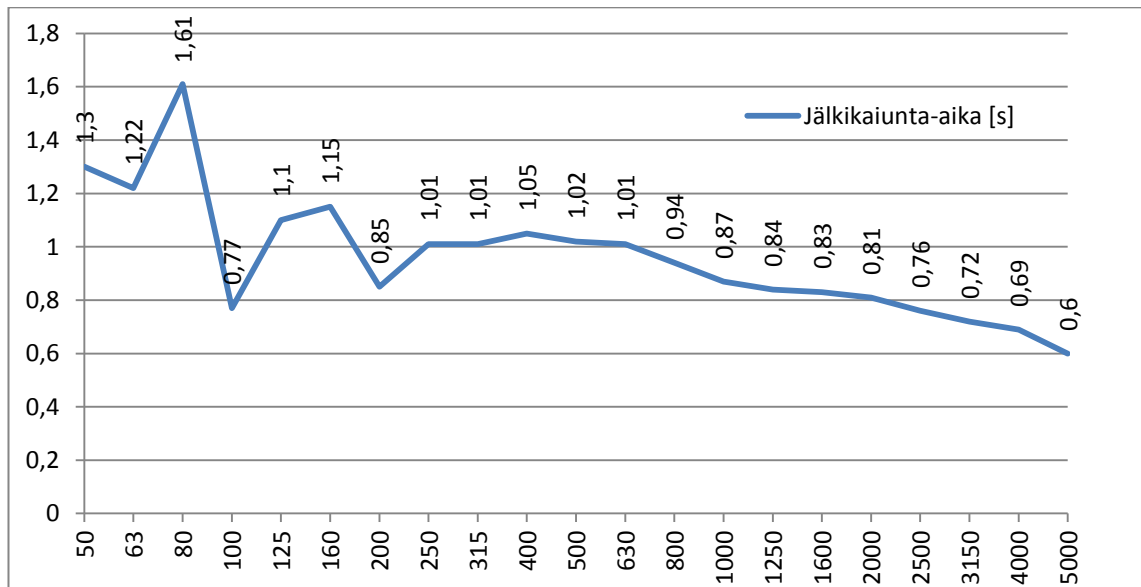
Värähtelymittaustulosten laskemiseksi mitattiin kohteessa vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika ja äänilähteiden aiheuttamat äänitasot tarkkuusäänitasomittarilla.

Näiden mittausten lisäksi tehtiin ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluvun mittaukset, jotka voisivat antaa tärkeää tietoa mahdollisista äänen vuotokohdista, rakennusvirheistä tai vastaavasti. Mikäli kohteessa saavutetut tulokset poikkeaisivat selkeästi siitä, mitä kohteessa käytetyillä rakenteilla yleensä saavutetaan, tulisi ääneneristävyyden heikennyksen syyt selvittää, koska niillä voisi olla myös värähtelymittausten tuloksia vääristävä vaikutus.

Ääneneristävyydsmittaukset tehtiin samalla kertaa värähtelymittausten kanssa, jotta äänilähteiden paikat ja muut mittaolosuhteet olisivat mahdollisimman lähellä toisiinsa.

### 5.3.1 Jälkikaiunta-aika

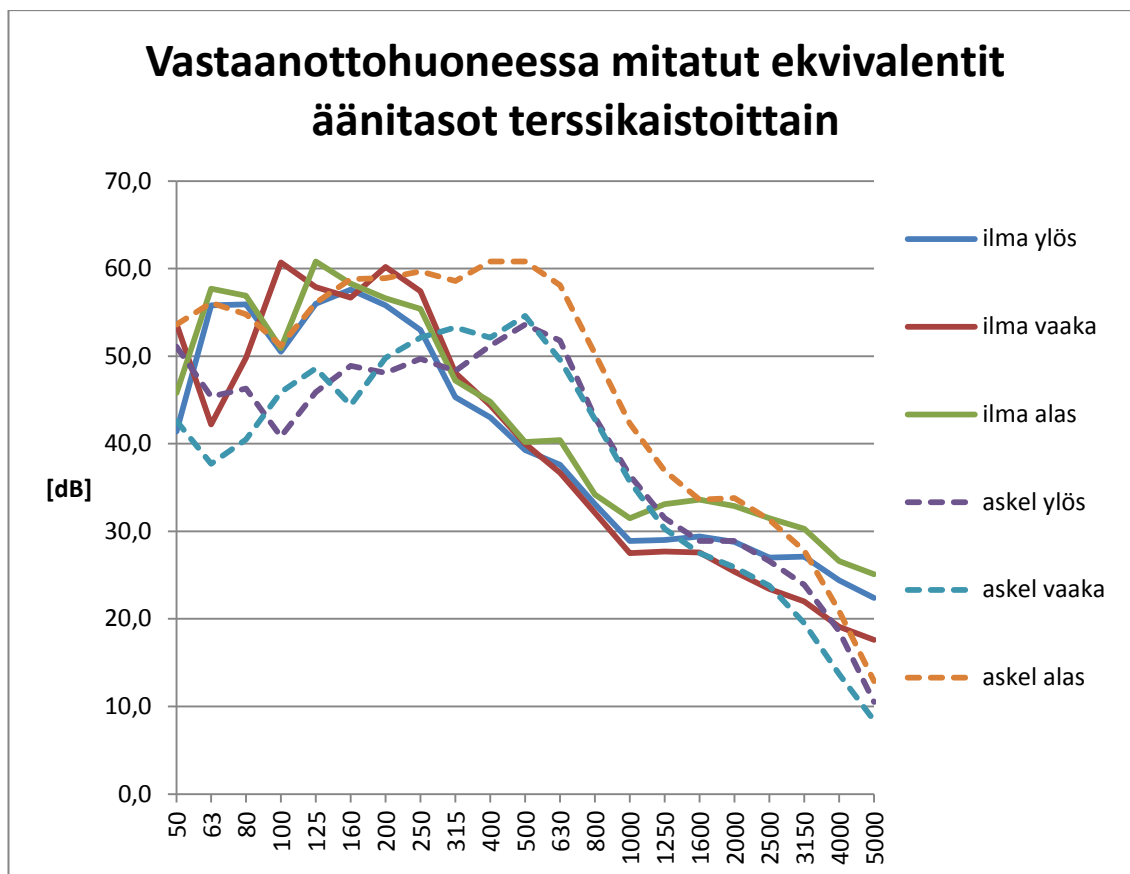
Äänilähteenä käytettiin mittarin kohinageneraattorista toistettua vaaleanpunaista kohinaa ja ympärisäteilevää pallokaiutinta. Jälkikaiunta-ajat mitattiin standardin ISO 354 mukaan, käyttäen katkaistun kohinan menetelmää (24). Vastaanottohuoneessa mitattujen jälkikaiunta-aikojen keskiarvot on esitetty kuvassa 24.



**Kuva 24** Mitatut jälkikaiunta-ajat

### 5.3.2 Vastaanottohuoneen äänitaso

Asunnon A4 olohuone- ja keittiöyhdistelmässä mitattiin jokaisen äänilähteen aiheuttama äänenpainetaso jokaisessa äänilähteen paikassa useassa eri mittauspisteessä. Mittaustuloksina käytettiin ääneneristävyyssmittauksissa (luvut 5.3.3 ja 5.3.4) saatuja tuloksia, jotka on esitetty kuvassa 25.



**Kuva 25 Vastaanottohuoneessa mitatut ekvivalentit äänitasot terssikaistoittain**

### 5.3.3 Ilmaääneneristävyys

#### *Mittaustapa*

Äänilähteenä käytettiin vaaleanpunaisen kohinan tuottavaa kohinageneraattoria ja ympärisäteilevää pallokaiutinta. Äänenpainetasojen erot mitattiin lähetys- ja vastaanottohuoneissa standardin ISO 140-4 mukaan (25). Ilmaääneneristysluku määritettiin mittaustuloksista standardin ISO 717-1 mukaan (26). Äänilähteen lähetys- ja vastaanottohuone, erottava rakenne sekä taajuuskaistoittain mitatut ääneneristävyys on esitetty liitteessä 3.

#### *Tulokset*

Ilmaääneneristyslukujen mittaustulokset ovat esitetty taulukossa 6 ilman tilavuusrajoitusta  $R'_w$ , sekä kohdan 3.3 tilavuusrajoituksen mukaisesti  $R'_{w,60m^3}$ .



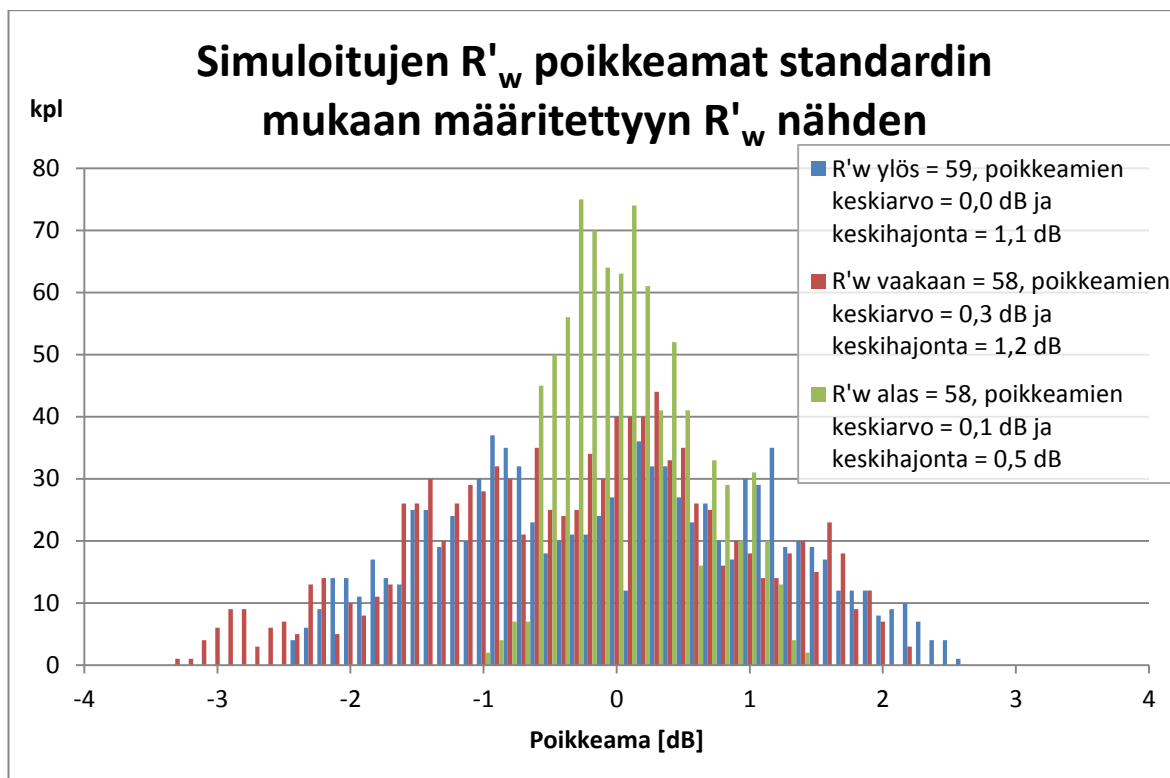
**Taulukko 6 Ilmaääneneristyslukujen mittaustulokset**

Nro	Vaaka / pysty	Mistä	Mihin	$R'_w$ [dB]	$R'_{w,60m3}$ [dB]
1	Ylös	A1 OH+K	A4 OH+K	<b>58</b>	<b>59</b>
2	Vaaka	A5 MH	A4 OH+K	<b>57</b>	<b>58</b>
3	Alas	A9 OH+K	A4 OH+K	<b>57</b>	<b>58</b>

Kaikki mitatut ilmaääneneristysluvut täyttivät luvun 3.1 vaatimukset.

#### *Mittausepävarmuuksien arviointi*

Yksittäisen ilmaääneneristysluvun laboratoriomittauksen  $R_w$  95 % epävarmuus on 1 – 3 dB standardin ISO 140-2 mukaan. Kenttämittauksille  $R'_w$  ei ole standardissa annettu epävarmuusarviota lainkaan. Mittaustulosten epävarmuutta on arvioitu Monte Carlo -menetelmäksi kutsuttavan numeerisen simuloinnin avulla. Menetelmässä lasketaan kaikista mitatuista lähetys- ja vastaanottotilan äänenpainetasoista (20 – 22 kpl) ja jälkikaiunta-ajoista (16 kpl) ilmaääneneristyslukuja 0,1 dB tarkkuudella vaihtelemalla lähtöarvoja keskenään. Näin saatiin simuloitua noin 1000 kpl erilaista ilmaääneneristyslukua per mittaussuunta. Kuvassa 26 on esitetty mittaussuunnittain (ylös, vaakaan, alas) simuloitujen ilmaääneneristyslukujen  $R'_w$  poikkeamat standardin mukaan määritettyyn ilmaääneneristyslukuun  $R'_w$  nähden, sekä poikkeamien keskiarvot ja keskihajonnat. (27 ss. 313-318.)



**Kuva 26 Simuloitujen  $R'_w$  poikkeamat standardin mukaan määritettyyn  $R'_w$  nähden**

#### 5.3.4 Askelääneneristävyys

##### *Mittaustapa*

Äänilähteenä käytettiin standardoitua askeläänikojetta. Askeläänitasot mitattiin vastaanottohuoneessa standardin ISO 140-7 mukaisesti (28). Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  määritettiin mittaustuloksista standardin ISO 717-2 mukaisesti (29). Äänilähteen sijoitus ja vastaanottohuone, erottava rakenne sekä taajuuskaistoittain mitatut askeläänitasot on esitetty liitteessä 4.

##### *Tulokset*

Askeläänitasolukujen mittaustulokset ovat esitetty taulukossa 7 ilman tilavuusrajoitusta  $L'_{n,w}$  sekä kohdan 3.3 tilavuusrajoituksen mukaisesti  $L'_{n,w,60m3}$ .

**Taulukko 7 Askeläänitasolukujen mittaustulokset**

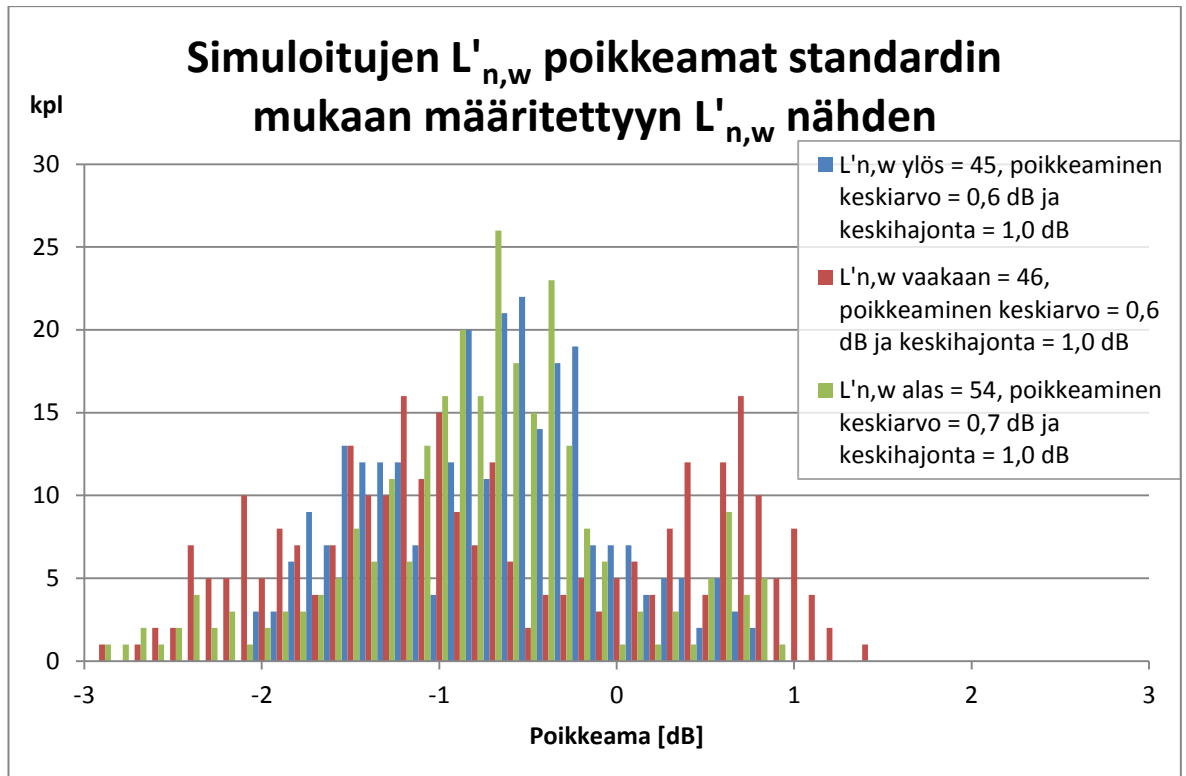
Nro	Suunta	Mistä	Mihin	$L'_{n,w}$ [dB]	$L'_{n,w,60m3}$ [dB]
1	Ylös	A1 OH+K	A4 OH+K	<b>46</b>	<b>45</b>
2	Vaaka	A5 MH	A4 OH+K	<b>47</b>	<b>46</b>
3	Alas	A9 OH+K	A4 OH+K	<b>55</b>	<b>54</b>

Askeläänitasoluvut nro 1 ja 2 täyttivät luvun 3.1 vaatimukset.

Askeläänitasoluku nro 3 ei täyttänyt vaatimusta, vaan jäi vaatimuksesta 1 dB päähän. Värähtelymittauksen tulosten perusteella voidaan todeta, että tiloja erottavan rakenteen (ontelolaatta 370 mm) lisäksi ääni siirtyi sivutiesiirtymänä betonirakenteisiin seiniin, joista se säteili alapuoliseen tilaan ilmaääneksi. Merkittävin sivutiesiirtymäreitti oli ei-kantavan ulkoseinän 120 mm paksu sisäkuorielementti. Nykyisten suunnitteluohjeiden mukaan ulkoseinien sisäkuoren paksuus tulisikin olla vähintään 150 mm kohteen rakennekokonaisuudessa. (13 s. 69.)

#### *Mittausepävarmuuksien arviointi*

Yksittäisen askeläänitasoluvun laboratoriomittauksen  $L'_{n,w}$  95 % epävarmuus on 1 – 3 dB standardin ISO 140-2 mukaan. Kenttämittauksille  $L'_{n,w}$  ei ole standardissa annettu epävarmuusarviota lainkaan. Mittaustulosten epävarmuutta on arvioitu Monte Carlo –menetelmäksi kutsuttavan numeerisen simuloinnin avulla. Menetelmässä lasketaan kaikista mitatuista vastaanottotilan äänenpainetasoista (17 – 18 kpl) ja jälkikaiunta-ajoista (16 kpl) askeläänitasolukuja 0,1 dB tarkkuudella vaihtelemalla lähtöarvoja keskenään. Näin saatiin simuloitua noin 300 kpl erilaista askeläänitasolukua per mittaus-suunta. Kuvassa 27 on esitetty mittaussuunnittain (ylös, vaakaan, alas) simuloitujen askeläänitasolukujen  $L'_{n,w}$  poikkeamat standardin mukaan määritettyyn askeläänitasolukuun  $L'_{n,w}$  nähden, sekä poikkeamien keskiarvot ja keskihajonnat. (30 ss. 319-324.)



Kuva 27 Simuloitujen  $L'_{n,w}$  poikkeamat standardin mukaan määritettyyn  $L'_{n,w}$  nähden

## 6 Ääneneristävyyden laskenta mallintamalla

Eri tilojen välisen ääneneristävyyden arviointiin on kehitetty erilaisia tietokonepohjaisia mallinnusohjelmia. Yksi näistä on Bastian, jonka avulla voidaan laskea kahden vierekkäisen tilan välinen ilma- ja askelääneneristävyys. Mallinnusohjelma laskee paitsi tiloja erottavan yhtenäisen rakenteen läpi tulevan äänen, myös äänen sivutiesiirtymän muiden rakenteiden, kuten välipohjan tai ulkoseinien kautta. Tässä insinööriyössä käytännössä mitattu kohde mallinnettiin kyseisellä ohjelmalla, jotta käytännön mittaustuloksista saatuja, eri pintojen tilaan aiheuttamaa ääntä, voitaisiin verrata täysin teoriapohjalta laskettuun.

### 6.1 Mallinnusohjelma

Asuntojen ilma- ja askelääneneristävyyttä on mallinnettu sovelluksella Bastian v2.3.95. Laskenta huomioi sivutiesiirtymän heikentävän vaikutuksen ja on tehty asuntojen

- A4 olohuone- ja keittiöyhdistelmän ja A5 makuuhuoneen välillä
- A4 ja A9 olohuone- ja keittiöyhdistelmien välillä
- A4 ja A1 olohuone- ja keittiöyhdistelmien välillä

Asuntojen A4 ja A5 sekä A4 ja A9 väliltä on laskettu ilma- ja askelääneneristävyys, mutta väliltä A4 ja A1 ainoastaan ilmaääneneristävyys, koska Bastian-ohjelmalla ei ole mahdollista laskea askelääneneristävyyttä alapuolisesta tilasta ylöspäin.

Bastian-ohjelmassa syötetään lähetys- ja vastaanottotilojen kaikki pinnat ja pintojen liitostapa toisiinsa nähden. Tästä poikkeuksena se, että tiloja erottavaa pintaa nähden samansuuntaisia pintoja ei voida syöttää. Eli jos lasketaan välipohjan ääneneristävyyttä alapuolisesta tilasta ylöspäin, niin alapuolisen tilan lattiarakennetta ja yläpuolisen tilan kattorakennetta ei voida syöttää ohjelmaan. Sivutiesiirtymän laskemista varten syötetään kuitenkin myös näiden pintojen massat ja liitostapa muihin rakenteisiin nähden.

Vastaanottotila oli siinä mielessä hieman poikkeuksellinen, että tilassa oli 5 seinärakennetta, lattia ja katto. Bastian-ohjelmaan pystyy kuitenkin syöttämään vain 4 seinäpintaa lattian ja katon lisäksi. Tästä syystä mallinnuksessa jätettiin asunnon sisäinen betoniseinä pois laskennasta.

Mallinnus on tehty arkkitehtikuvien pohjalta mitatuilla dimensioilla.

## 6.2 Rakenteet

Kohteen suunnittelun rakennetyyppien mukaan mallinnuksessa on käytetty:

- huoneistojen välisenä seinänä 180 mm paksua teräsbetoniseinää ( $432 \text{ kg/m}^2$ )
- parvekkeen vastaisena ulkoseinänä 120 mm paksua teräsbetoniseinää ( $288 \text{ kg/m}^2$ , ulkoseinän sisäkuori)
- keittiön vastaisena ulkoseinänä 150 mm paksua teräsbetoniseinää ( $360 \text{ kg/m}^2$ , ulkoseinän sisäkuori)
- välipohjana 370 mm ontelolaattaa ( $490 \text{ kg/m}^2$ ), jonka päällä tasotekerros ( $25 \text{ kg/m}^2$ ), askelääneneriste Duplex ja lautaparketti Tarkett Ultraloc 12 mm.
- yläpohjana 370 mm ontelolaattaa ( $490 \text{ kg/m}^2$ )
- sivuavana rakenteena ACO-seinää 92 mm ( $93 \text{ kg/m}^2$ )
- sivuavana rakenteena 180 mm paksua teräsbetoniseinää ( $432 \text{ kg/m}^2$ )

Mallintamista varten Bastian-ohjelmaan syötettiin ACO-seinän pintamassa ja taajuuskaistoittain 100 – 3150 Hz mitattu laboratoriomittaus tulos (31). Lisäksi rakenteen koin-sidenssitaajuus ja taajuuksien 50, 63, 80, 4000 ja 5000 Hz ilmaääneneristävyys arvioitiin laskemalla.

## 6.3 Tulokset

Laskentatulokset ovat taulukossa 8

**Taulukko 8 Mallinnuksella lasketut ilma- ja askelääneneristävyydet**

Lasketut tilat		Suunta	mallinnettu ilmaääneneristävyytluku dB		mallinnettu askeläänitasoluku dB	
Lähetystila	Vastaanottotila		$R'_{w,est}$ (laskenta tehty käyttäen todellisia tilavuuksia)	$R'_{w,est,60m3}$ (tilavuus rajoitettu $60 \text{ m}^3$ kohdan 3.3 mukaisesti)	$L'_{n,w,est}$ (laskenta tehty käyttäen todellisia tilavuuksia)	$L'_{n,w,est,60m3}$ (tilavuus rajoitettu $60 \text{ m}^3$ kohdan 3.3 mukaisesti)
A1 OH+K	A4 OH+K	Ylös	61,3	62,4	-	-
A5 MH	A4 OH+K	Vaaka	55,8	56,9	43,1	42,0
A9 OH+K	A4 OH+K	Alas	60,4	61,5	51,3	50,2

Bastian-ohjelma käyttää mallinnuksessa rakenteiden ominaisarvoja ilman varmuusker-toimia, joten mallinnuksen tulisi vastata käyttötilannetta. Kuitenkin mallinnettujen rakenteiden (varsinkin kevyet rakenteet) vastaavuus todellisuuteen on epävarmaa, mikä

aiheuttaa epävarmuutta laskentatuloksiin. Siksi suunnittelussa käytetään tavallisesti laskentatuloksissa 2 dB turvamarginaalia.

## 7 Tulosten analysointi

### 7.1 Ilmaääneneristys- ja askeläänitasoluvut

Eri menetelmillä saatujen ilma- ja askelääneneristävyyksien yksilokuarvot (ilman tilavuusrajoitusta ja tilavuusrajoituksen kanssa) on koottu taulukoihin 9 ja 10. Värähtelymittausten tuloksista on laskettu ilma- ja askelääneneristävyydet siten, että standardien ISO 140-4 ja ISO 140-7 mukaan mitatut äänitasot vastaanottohuoneessa on korvattu värähtelymittauksen tuloksista lasketuilla äänitasoilla.

**Taulukko 9 Eri menetelmillä saadut ilma- ja askelääneneristävyydet ilman tilavuusrajoitusta.**

	Lähetys-tila	Vastaan-ottotila	laskenta tehty käyttäen todellisia tilavuuksia		
Menetelmä			Värähtelymittaus	Äänitasomittari	Bastian-ohjelma
<b>R'<sub>w</sub></b>	A1 OH+K	A4 OH+K	58	58	61
	A5 MH	A4 OH+K	55	57	56
	A9 OH+K	A4 OH+K	59	57	60
<b>L'<sub>n,w</sub></b>	A1 OH+K	A4 OH+K	46	46	-
	A5 MH	A4 OH+K	47	47	43
	A9 OH+K	A4 OH+K	56	55	51

**Taulukko 10 Eri menetelmillä saadut ilma- ja askelääneneristävyydet käyttäen tilavuusrajoitusta.**

	Lähetys-tila	Vastaan-ottotila	tilavuus rajoitettu 60 m <sup>3</sup> kohdan 3.3 mukaisesti		
Menetelmä			Värähtelymittaus	Äänitasomittari	Bastian-ohjelma
<b>R'<sub>w</sub></b>	A1 OH+K	A4 OH+K	59	59	62
	A5 MH	A4 OH+K	56	58	57
	A9 OH+K	A4 OH+K	60	58	61
<b>L'<sub>n,w</sub></b>	A1 OH+K	A4 OH+K	45	45	-
	A5 MH	A4 OH+K	46	46	42
	A9 OH+K	A4 OH+K	55	54	50

Kaikkien tulosten vaihteluväli ilmaääneneristysluvulle  $R'_w$  oli 0 – 3 dB ja askeläänitasoluvulle  $L'_{n,w}$  0 – 5 dB.

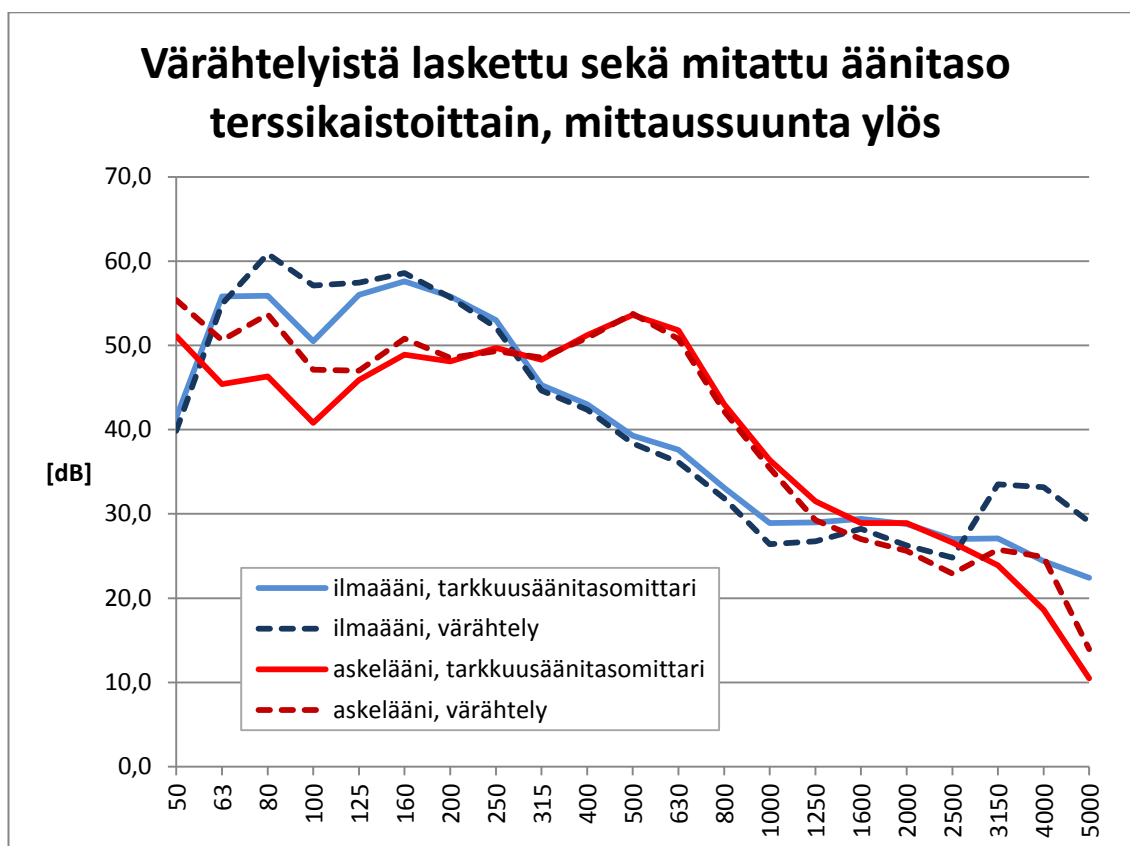
### 7.2 Värähtelymittauksen ja äänitasomittarin tulokset

Värähtelymittausten tulokset osuivat varsin hyvin yhteen äänitasomittarin tulosten kanssa. Vaihteluväli ilmaääneneristysluvulle  $R'_w$  oli 0 – 2 dB ja askeläänitasoluvulle  $L'_{n,w}$  0 – 1 dB. Käytännössä värehtelymittauksella ei lähdetä selvittämään rakenteiden välistä ääneneristävyytlukua, vaan menetelmää voidaan käyttää mm. korjausrakenta-

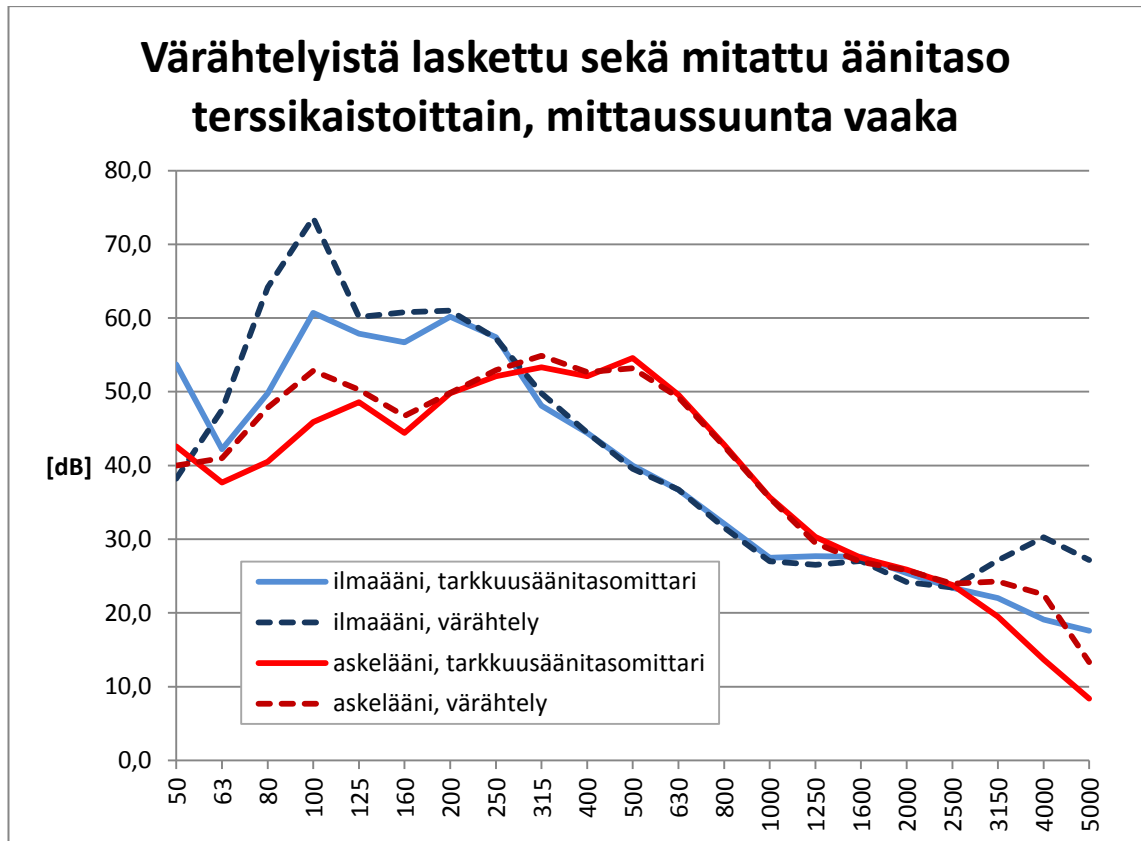


misessa, kun halutaan selvittää, mitä rakenneosaa pitkin ääni kulkeutuu tilasta toiseen. Tällöin korjaustoimenpiteet osataan kohdistaa oikein.

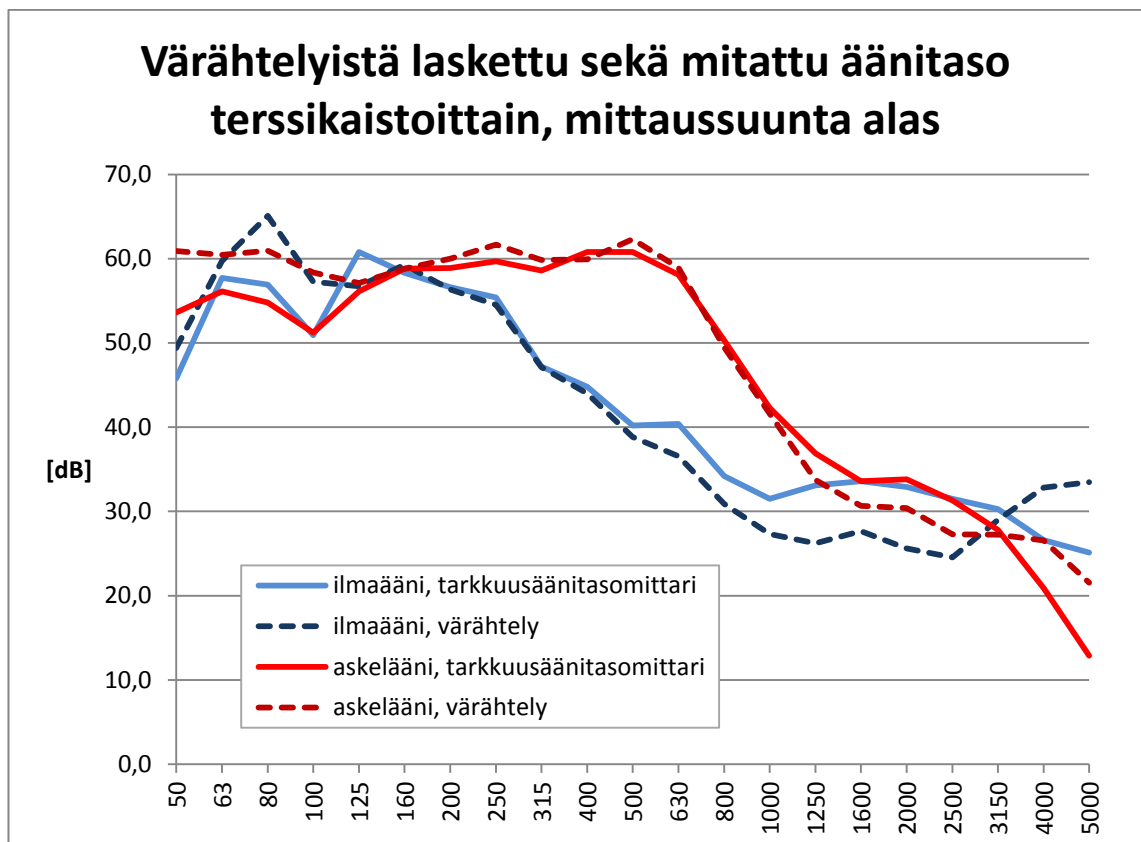
Seuraavaksi on esitetty kuvissa 28 – 30 värähtelymittauksen tuloksista laskettu äänitaso sekä äänitasomittarilla mitattu äänitaso mittaussuunnan ja äänilähteen mukaan eriteltynä. Kuvaajissa esitetyt äänitasot eivät tarkoita samaa asiaa kuin edellisessä kappaleessa esitetyt ilma- ja askelääneneristävyydet, mutta kuvaajien muoto on täsmälleen sama laskentamenetelmästä johtuen.



Kuva 28 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta ylös



Kuva 29 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta vaaka



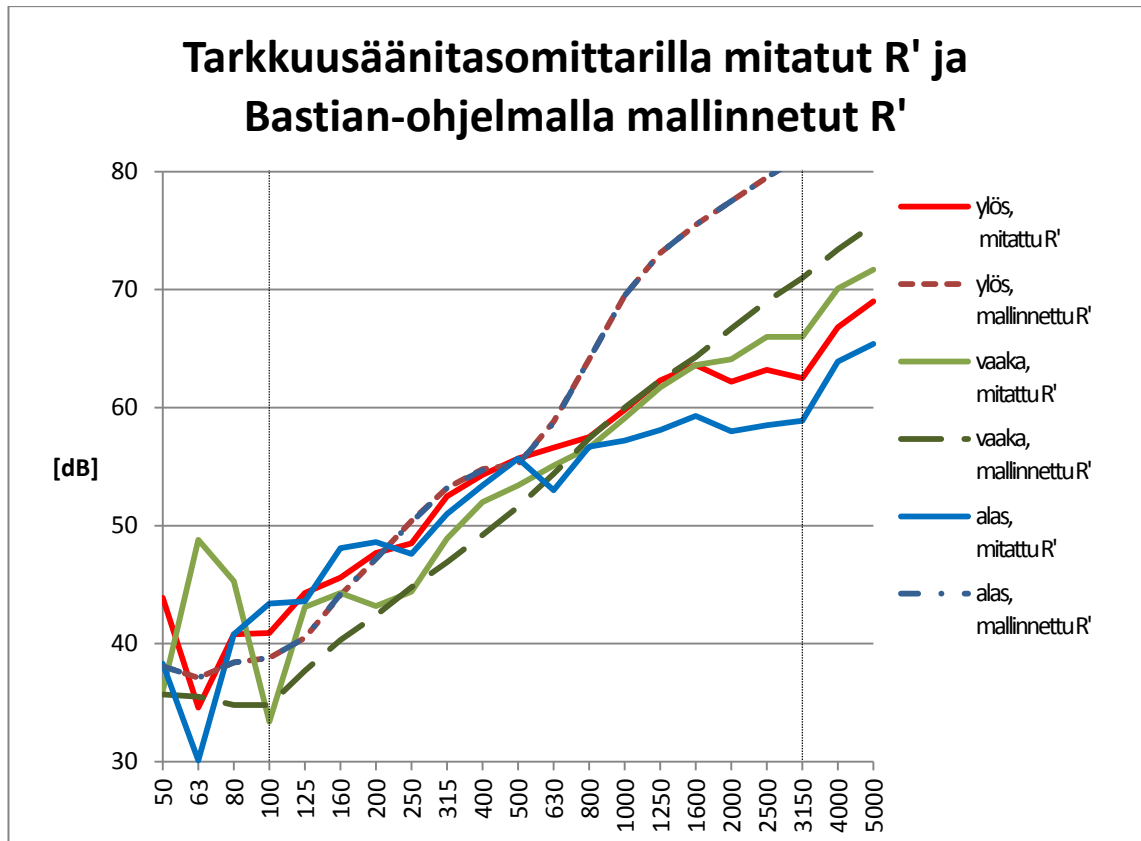
Kuva 30 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta alas

### 7.3 Mallinnuksen ja äänitasomittarin tulokset

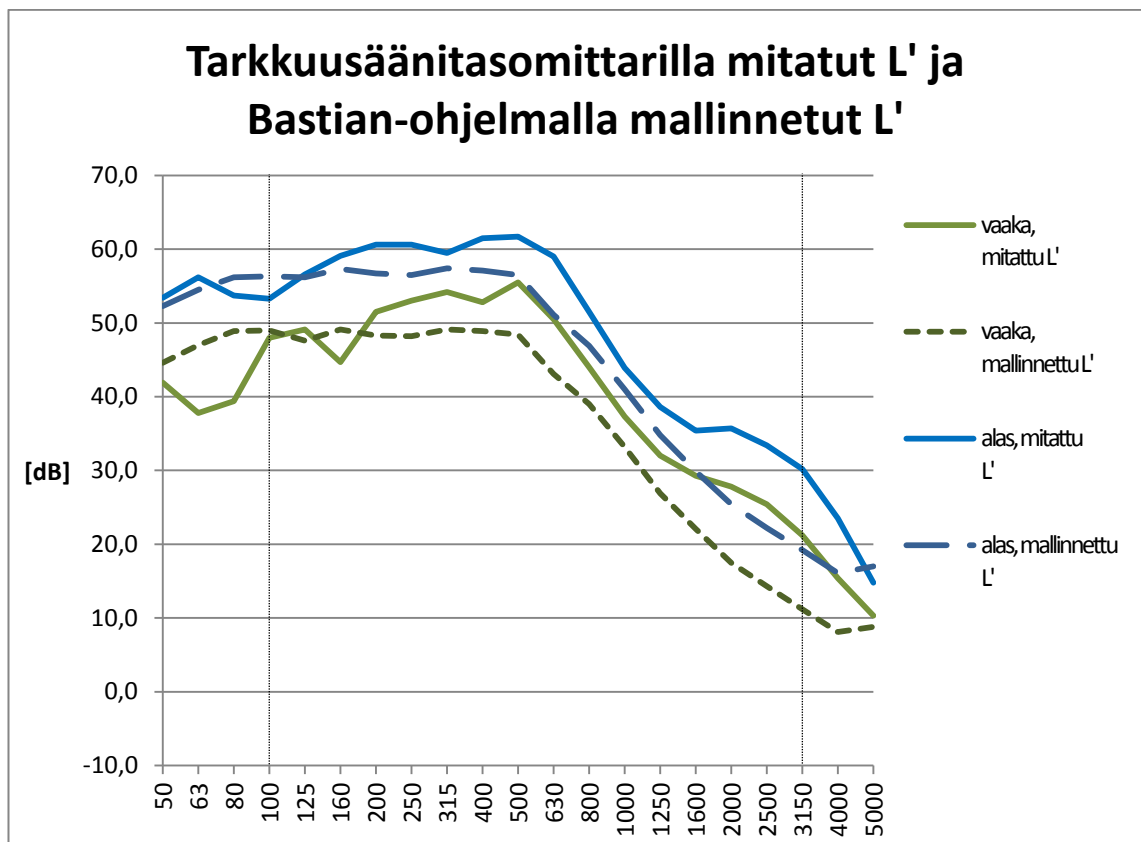
Bastian-ohjelman mallinnuksella saadut tulokset poikkesivat eniten verrattuna muihin mittausten menetelmiin. Ilmaääneneristävyydet tulokset osuivat muuten hyvin yhteen mittausten kanssa, mutta vaikuttaa siltä, että mallinnus yliarvio hieman rakenteiden pystysuuntaista ilmaääneneristävyyttä. Osaselitys lienee se, että valmiissa kohteessa välipohjarakenteen läpi kulkee läpivientejä, mm. tässäkin kohteessa patteriputket jatkuivat tilasta toiseen. Äänivuotoon viittaisi se, että isoimmat erot ääneneristävyydessä ovat korkeilla taajuuksilla.

Askelään osalta ohjelmalla pystyi mallintamaan vain kaksi tulosta, joilla saadut eristävyydet olivat 4 – 5 dB parempia kuin standardin mukaan mitatut. Vaakasuuntaan laskettua tulosta selittää se, että mallinnus ei huomioi muita rakenteita kuin tiloja erottavan seinän ja alapuolisen välipohjan. Käytännössä ääni siirtyy sivutiesiirtymänä myös muita rakenteita pitkin, kuten ulkoseinän, sisäseinien ja yläpuolisen välipohjan kautta, kuten on osoitettu luvussa 5.2.7. Pystysuuntaan tehdyssä mallinnuksessa ohjelma huomioi myös muut sivuavat rakenteet, joten se ei ole syynä poikkeamaan. Käytännön mittaustulosta on voinut heikentää jo aiemmin mainitut läpiviennit välipohjarakenteen läpi tai mittauksessa käytetty noin 1 m<sup>2</sup> kokoinen lautaparketin pala.

Kuvissa 31 ja 32 on esitetty Bastianilla mallinnetut ja tarkkuusäänitasomittarilla standardin mukaan mitatut ilma- ja askelääneneristävyydet.



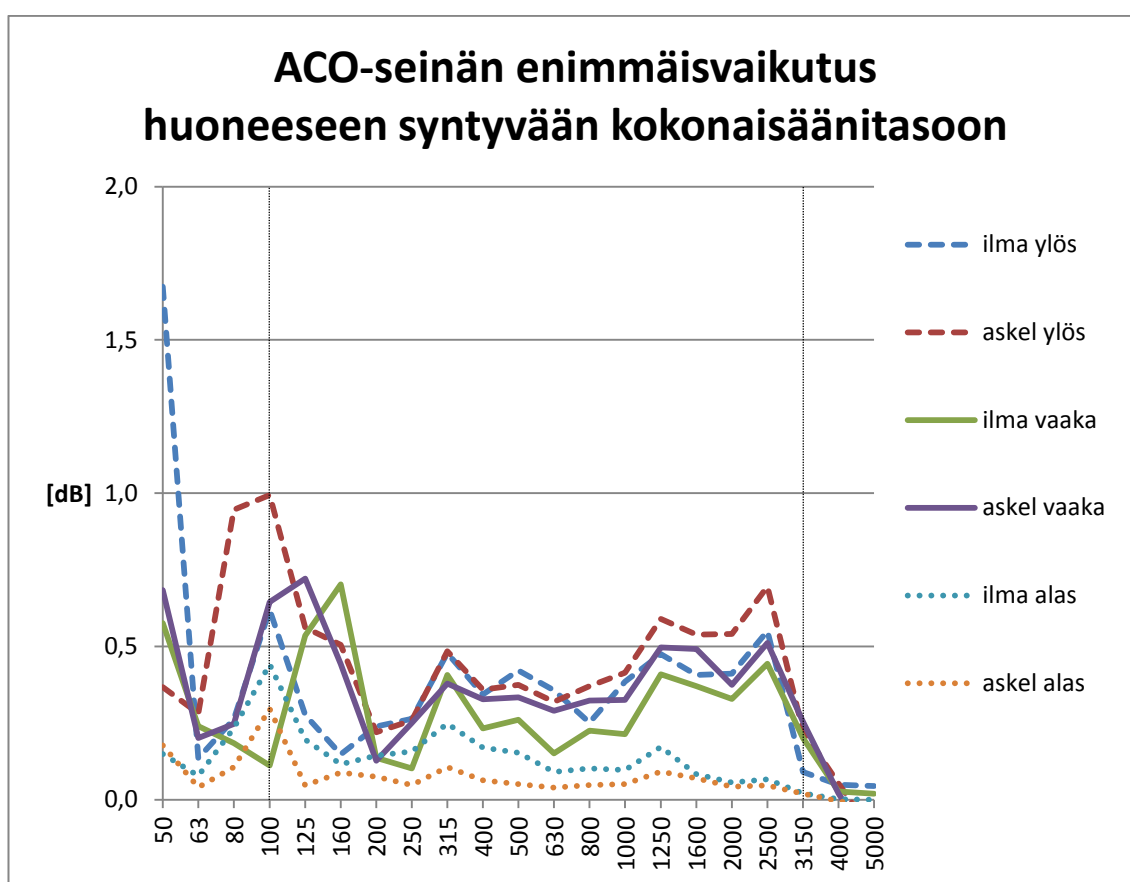
Kuva 31 Tarkkuusäänitasomittarilla mitatut R' ja Bastian-ohjelmalla mallinnetut R'



Kuva 32 Tarkkuusäänitasomittarilla mitatut L' ja Bastian-ohjelmalla mallinnetut L'

#### 7.4 ACO-seinän vaikutus ääneneristävyyteen

Kuvassa 33 on laskettu ACO-seinän enimmäisvaikutus huoneeseen syntyvään kokonaisäänitasoon. Kuvajasssa on erotettu ohuella mustalla katkoviivalla 100 – 3150 Hz alue, joka on rakentamismääräyskokoelman vaatimuksissa mittausalueena. Enimmäisvaikutus on laskettu siten, että huoneen kaikkien pintojen (mukaan lukien ACO-seinä) aiheuttamasta kokonaisäänitasosta on vähennetty ACO-seinän aiheuttama äänitaso. Tämä ei kuitenkaan vastaa täysin ACO-seinän huoneen kokonaisäänitasoa lisäävää vaikutusta, koska jos ACO-seinän paikalla olisi toinen seinärakenne, esimerkiksi levyseinä, myös se säteilisi ääntä tilaan.



Kuva 33 ACO-seinän enimmäisvaikutus huoneeseen syntyvään kokonaisäänitasoon

Mittaustuloksista on selkeästi nähtävissä ACO-seinän eri liittymätyyppien vaikutus äänen säteilyn määrään. ACO-seinä on alasaumastaan todella jäykästi kiinni kololaatassa, sillä se on valettu betonilla alasauman ympäriltä välipohjaan kiinni. Tällöin ACO-seinän vaikutus koko huoneeseen syntyvään äänitasoon on suurimmillaan.

Vaakasuuntaisessa mittauksessa ACO-seinä on pystysaumastaan kiinnitetty laasti- ja polyuretaanitäytöllä. Vaikutus kokonaisäänitasoon on tämän käyrän perusteella melkein yhtä suuri kuin ylöspäin mitattaessa. Toisaalta ACO-seinän kanssa samalla etäisyydellä huoneistojen välisestä seinästä oleva ei-kantava ulkoseinä lisäsi tilan kokonaisäänitasoa vähintään yhtä paljon (katso kuvat ”Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askel-ääni vaakaan” ja ”Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmaääni vaakaan”).

Ilma- ja askelääntä alaspäin mitattaessa voidaan todeta, että ACO-seinän vaikutus huoneen kokonaisäänitasoon on mitätön. Vaikka polyuretaani ei missään nimessä ole äänisiltoja katkaiseva materiaali, niin yläsauman kautta ACO-seinään siirtyvä värähtely ja säteily ilmaääneksi eivät vaikuttaneet mitattuihin ääneneristävyysksiin.

Yleensä kentällä tehtävät mittaustulokset pyöristetään kokonaisiin desibeleihin mittauserävarmuuksien takia. Mittaustulosten mukaan ACO-seinän keskimääräinen enimmäisvaikutus huoneen kokonaisäänitasoon on noin 0,5 dB, joten ACO-seinän vaikutus huoneen kokonaisäänitasoon on hyvin vähäinen kaikkiin suuntiin mitattuna, sekä askel-että ilmaäänen tapauksessa.

## 8 Pohdintaa

Insinööriyössä tutkittiin ACO-seinän värähtelyä, kun ACO-seinä on sivuavana rakenteena asuinhuoneistojen väliseen erottavaan välipohja- tai seinärakenteeseen nähden. Värähtelyä tutkittiin sekä ilma- että askeläänen avulla.

Värähtelymittauksessa kohteen ja mittauskaluston valinta, sekä tehdyt mittaukset onnistuivat erittäin hyvin. Värähtelymittauksella saaduista pintojen kiihtyvyyssarvoista pystyttiin laskemaan jokaisen eri rakenneosan huonetilaan aiheuttama äänenpainetaso ja tarkastelemaan ACO-seinän vaikutusta ääneneristävyyteen. Värähtelymittauksen tulokset osoittautuivat luotettavaksi, koska kiihtyvyyksistä laskettu äänenpainetaso vastasi hyvin äänitasomittarilla mitattuja, ääneneristävyyden laskennassa yleensä käytetyllä 100 – 3150 Hz taajuusalueella.

Matalilla ja todella korkeilla taajuuksilla erot äänitasomittaukseen kasvoivat verrattain suureksi. Korkeilla taajuuksilla ongelmaksi muodostuu kiihtyvyyssanturien kiinnittäminen, sillä magneettikiinnitys ei anna luotettavia tuloksia 4 kHz yläpuolella. Mikäli haluttaisiin selvittää ääneneristävyyttä korkeilla taajuuksilla, tulisi kiihtyvyyssanturit kiinnittää kiila-ankkureihin ruuvaamalla. Matalilla taajuuksilla ongelmana eivät ole kiihtyvyyssanturit, vaan laskennassa käytetyt säteilykertoimet. Mikäli haluttaisiin selvittää tarkemmin matalia taajuuksia, tulisi rakenteiden rakenteelliset jälkikaiunta-ajat mitata ja laskea niistä pintojen säteilykertoimet.

Mallinnusohjelman avulla saadut tulokset antoivat hieman liian hyviä eristävyyksiä verrattuna kentällä saatuihin mittaustuloksiin. Vaakasuuntaisen askeläänen laskennassa voitaisiinkin ottaa käyttöön 4 dB:n turvamarginaali 2 dB:n sijaan. Tämän ei pitäisi aiheuttaa ongelmia määräysten täyttymiseksi nykyisin käytetyillä rakenteilla, koska huoneistojen välinen ilmaääneneristävyys on yleensä vaakasuunnassa askelääntä kriittisempi. Vielä parempi olisi, jos turvamarginaalin kasvattamisen sijaan mallinnusohjelmaa pystytettäisiin kehittämään siten, että se ottaisi välipohjan lisäksi huomioon muutkin sivuavat rakenteet vaakasuuntaisen askeläänen arvioinnissa.

Insinööriyön tulos oli se, että tiloja erottava rakenne oli aina äänen merkittävin siirtymäreitti. Tämä oli myös odotusarvo. Mittaustulokset osoittivat myös, että sivutiesiirty-

mät sivuavien rakenteiden kautta heikentävät tilojen välistä ääneneristävyyttä ja merkittävimmät sivutiesiirtymäreitit olivat ohuet betonirakenteet.

ACO-seinän vaikutus asuinhuoneistojen väliseen ääneneristävyyteen oli hyvin vähäinen. ACO-seinän eri liittymätyyppien vaikutus värähtelyn kulkeutumisesta seinään ja sitä kautta säteilyyn ilmaääneksi oli loogista: Mitä jäykempi ACO-seinän liitos oli, sitä suurempi osa äänestä siirtyi liittymän yli ACO-seinään ja säteili ilmaääneksi. Tutkitun ACO-seinän rakennepaksuus oli 92 mm. Työn tulokset ovat todennäköisesti samankaltaiset rakennepaksuuksilla 68 tai 120 mm.

Mikäli tilojen välille vaaditaan korkeaa ääneneristävyyttä, tulisi tiloja erottavan rakenteen korkean ääneneristävyyden lisäksi huolehtia, että sivutiesiirtymät eivät heikennä kokonaisuutta. Siksi tulisi välttää ohuita (<150 mm) betonirakenteisia seiniä, jotka ovat jäykästi kiinni ympäröivissä rakenteissa. Mikäli tilan pintoja rajaavat useammat kivirakenteiset seinät, myös tätä paksummat betoniseinät voivat heikentää ääneneristävyyttä.

Nykyään asuinkerrostalojen rakenteet voivat olla tämän insinööritoiminnan kohteessa mitattuja raskaampia ja paremmin ääntä eristäviä: huoneistojen väliseinänä käytetään 200 mm betoniseiniä, välipohjana kelluvia laattoja (mm. lattialämmityksen takia) ja ulkoseinänä vähintään 150 mm betonisisäkuoria. Kun äänen sivutiesiirtymäreittejä muiden kuin ACO-seinän kautta estetään, niin ACO-seinään siirtyvä mekaaninen värähtely kasvaa suhteessa muihin rakenteisiin. Toisaalta kyseisillä rakenteilla voidaan saavuttaa niin hyviä ilmaääneneristys- ja askeläänitasolukuja, että vaatimusten taso voidaan täyttää myös käyttämällä ACO-seinää sivuavana rakenteena.



## 9 Lähdeluettelo

1. **Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry.** *Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet.* s.l. : Hakapaino Oy, 2007.
2. **Hentinen, Markku;ym.;ym.** *Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkoneissa.* Espoo : Otamedia Oy, 2002.
3. **Työterveyslaitos.** Melukäsitteitä. [Online] [Viitattu: 15. kesäkuu 2011.] <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melukasitteita/sivut/default.aspx>.
4. **Ympäristöministeriö.** *Suomen rakentamismääräyskokoelma C1-1998, Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet.* 1998.
5. **Suomen Standardisoimisliitto . SFS-5907 - Rakennusten akustinen luokitus .** 2004.
6. **VTT.** *VTT Tiedotteita 2468: Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys.* Espoo : VTT, 2009.
7. **Ympäristöministeriö.** *Ympäristöopas 61. Ampumaratamelun mittaaminen.* Helsinki : s.n., 1999.
8. **Lahti, Tapio.** *Akustinen mittaustekniikka.* Espoo : s.n., 1997.
9. **Kylliäinen, Mikko.** *Talonrakentamisen akustiikka.* Tampere : s.n., 2006.
10. **Kuuloliitto Ry.** Kuulo. [Online] [Viitattu: 11. kesäkuu 2011.] <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/>.
11. **Hongisto, Valtteri.** *Akustiikka ja ilmanvaihtolaitoksen äänitekniikka, akustiikan perusteet, luentomoniste.* Helsinki : s.n., 2011.
12. —. Meluntorjunta S89.3474. Perusteet. [Online] [Viitattu: 20. kesäkuu 2011.] [https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/s-89.3471/materiaali/S-89\\_3471\\_1\\_perusteet.pdf](https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/s-89.3471/materiaali/S-89_3471_1_perusteet.pdf).
13. **Rakennusteollisuus RT.** Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. [Online] 2009. [Viitattu: 19. kesäkuu 2011.] [http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21797/Suunnitteluohje\\_final\\_osa1.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21797/Suunnitteluohje_final_osa1.pdf).
14. **Kääriäinen, Markus.** *Sivutiesiirtymän vaikutus ääneneristävyyteen.* 2004.
15. **Hopkins, Carl.** *Sound Insulation.* s.l. : Elsevier Ltd, 2007.
16. **Ympäristöministeriö.** *Suomen rakentamismääräyskokoelma D2-2010, Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.* 2010.
17. **Rakennustarkastusyhdistys RTY.** Suositus ääneneristävyyden mittaamisesta. [Online] [Viitattu: 11. kesäkuu 2011.] <http://www.rakennustarkastusyhdistysry.fi/uutiset.html?58>.
18. **Rakennusbetoni ja Elementti Oy.** *ACO työohjeet.* 2005.

19. **Rakennusbetoni- ja Elementti Oy.** *RT-kortti G22-37619, Kevytsorabetoninen seinäelementti ACO.* 2008.
20. —. ACO-väliseinä. *ACO-kuvia.* [Online] [Viitattu: 16. kesäkuu 2011.] <http://www.rakennusbetoni.fi/>.
21. —. *Huoneistojen välisen ACO-seinän äänitekniinen suunnitteluohje.* 2004.
22. **Nordtest.** *Building structures, Junctions: Transmission of vibration - Building elements.* Espoo : VTT Offsetpaino, 1995.
23. **Metra Mess- und Frequenztechnik.** Accelerometer Mounting. [Online] [Viitattu: 14. kesäkuu 2011.] [http://www.mmf.de/pdf/an8e-accelerometer\\_mounting.pdf](http://www.mmf.de/pdf/an8e-accelerometer_mounting.pdf).
24. **International Organisation for Standardization.** *International Standard ISO 354: Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room.* 2003.
25. —. *International Standard ISO 140-4: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.* 1998.
26. —. *International Standard ISO 717-1: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation.* 1996.
27. **Niemi, Henry; Kylliäinen, Mikko ja Mikkilä, Antti.** Ääneneristysmittausten mittausepävarmuuden arviointi. [kirjan tekijä] Marko Hiipakka. *Akustiikkapäivät 2011.* Espoo : Multiprint Oy, 2011.
28. **International Organisation for Standardization.** *International Standard ISO 140-7: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors.* 1998.
29. —. *International Standard ISO 717-2: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation.* 1996.
30. **Kylliäinen, Mikko.** Askelääneneristävyyden mittausepävarmuus kenttämittauksissa. [kirjan tekijä] Marko Hiipakka. *Akustiikkapäivät 2011.* Espoo : Multiprint Oy, 2011.
31. **VTT.** *Tutkimuslaskelma nro LVI1888/91.* Espoo : s.n., 1991.

## Kuvaluettelo

Kuva 1 Ihmisen kuulokynnys taajuuskaistoittain (11). .....	6
Kuva 2 Avaruuskulman vaikutus äänenpainetasoon vapaassa kentässä (12 s. 28). .....	7
Kuva 3 Huonevaimennuksen käytännön merkitys (12 s. 34). .....	10
Kuva 4 Puheen (esimerkissä $L_w = 71$ dB) leviämismuunnos erilaisissa ympäristöissä. DL <sub>2</sub> arvo kertoo vaimennuksen desibeleinä, kun etäisyys äänilähteestä kaksinkertaistuu. ....	10
Kuva 5 Äänen siirtymäreitit rakennuksessa (13 s. 13). .....	13
Kuva 6 Herätetävän vaikutus säteilykertoimeen (2, Liite 1, s. 44-45). .....	14
Kuva 7 ACO-elementtejä työmaalla (20). .....	20
Kuva 8 Rakennetyypit vastaanottotilan A4 pohjakuvassa .....	23
Kuva 9 Väliaikainen ulko-ovi asunnossa A5 .....	25
Kuva 10 Teräslevyjen asennus huoneistojen väliseen seinään. Teräslevyt olivat todella jäykästi kiinni pinnoissa. Oikealla alhaalla kattopinnasta irrotettu teräslevy. ....	26
Kuva 11 Kiihtyvyyssanturin kiinnitys teräslevyyn .....	27
Kuva 12 Kiihtyvyyssanturin taajuusvasteet kiinnitystavan mukaan (23). .....	27
Kuva 13 Mittauskalustoa.....	28
Kuva 14 Askeläänikoje ja ympärisäteilevä pallokaiutin .....	29
Kuva 15 Äänilähteiden sijoitus, 1.krs. Mittaussuunta alhaalta ylöspäin. ....	31
Kuva 16 Äänilähteiden sijoitus, 2.krs. Mittaussuunta vaakaan. ....	31
Kuva 17 Äänilähteiden sijoitus, 3.krs. Mittaussuunta ylhäältä alaspäin. ....	32
Kuva 18 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmaääni ylös.....	35
Kuva 19 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmaääni vaakaan.....	36
Kuva 20 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, ilmaääni alas.....	36
Kuva 21 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni ylös.....	37
Kuva 22 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni vaakaan .....	37
Kuva 23 Pintojen aiheuttama äänitaso huoneeseen, askelääni alas.....	38
Kuva 24 Mitatut jälkikaiunta-ajat .....	39
Kuva 25 Vastaanottohuoneessa mitatut ekvivalentit äänitasot terssikaistoittain .....	40
Kuva 26 Simuloitujen R'w poikkeamat standardin mukaan määritettyyn R'w nähden..	42
Kuva 27 Simuloitujen L'n,w poikkeamat standardin mukaan määritettyyn L'n,w nähden .....	44
Kuva 28 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta ylös .....	49

Kuva 29 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta vaaka .....	50
Kuva 30 Värähtelyistä laskettu sekä mitattu äänitaso terssikaistoittain, mittaussuunta alas .....	50
Kuva 31 Tarkkuusäänitasomittarilla mitatut R' ja Bastian-ohjelmalla mallinnetut R' ....	52
Kuva 32 Tarkkuusäänitasomittarilla mitatut L' ja Bastian-ohjelmalla mallinnetut L' .....	52
Kuva 33 ACO-seinän enimmäisvaikutus huoneeseen syntyvään kokonaisäänitasoon ..	53

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1 Esimerkkiääniä A-painotettuna äänitasona [dB] ja äänenpaineena [Pa] (2 s. 8).....	4
Taulukko 2 Materiaalien absorptiosuhteita (2, Liite 1, s. 25). ....	8
Taulukko 3 Rakentamista koskevat määräykset ja ohjearvot (1 s. 16). ....	16
Taulukko 4 D2-2010 ohjearvot äänitasolle.....	17
Taulukko 5 ACO-elementtien vakiokoot (18).....	19
Taulukko 6 Ilmaääneneristyslukujen mittaustulokset.....	41
Taulukko 7 Askeläänitasolukujen mittaustulokset.....	42
Taulukko 8 Mallinnuksella lasketut ilma- ja askelääneneristävydet .....	46
Taulukko 9 Eri menetelmillä saadut ilma- ja askelääneneristävydet ilman tilavuusrajoitusta. ....	48
Taulukko 10 Eri menetelmillä saadut ilma- ja askelääneneristävydet käyttäen tilavuusrajoitusta. ....	48

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

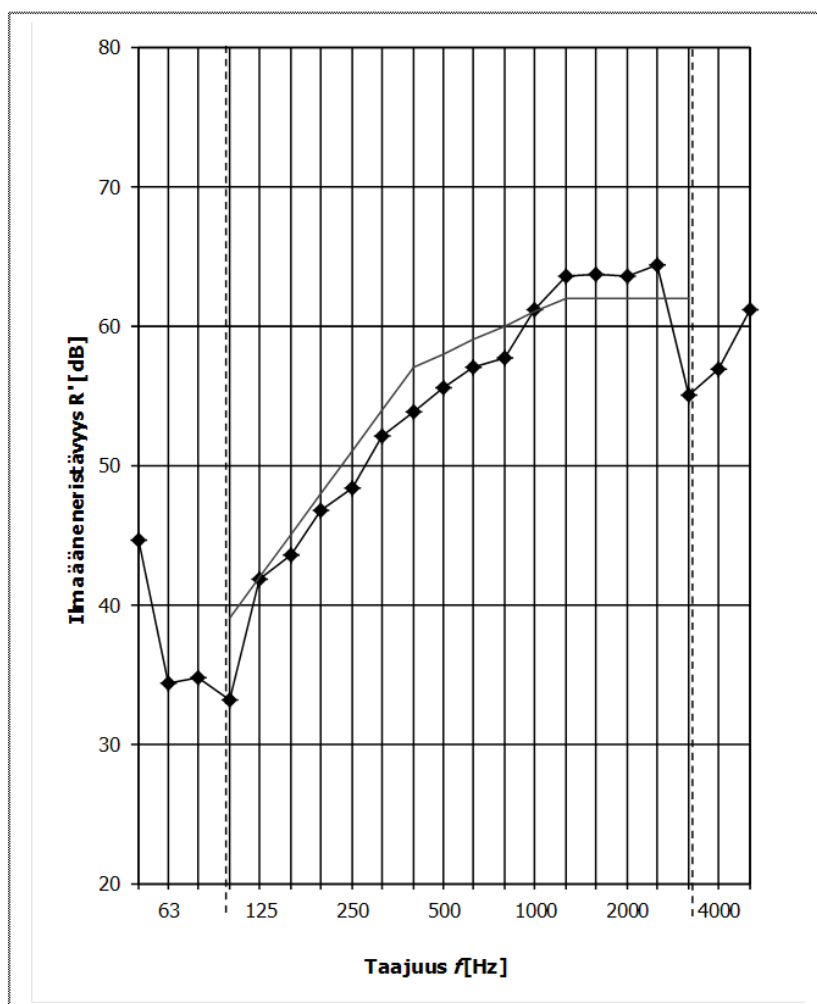
mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$   
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$   
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	44,6
63	34,3
80	34,7
100	33,1
125	41,8
160	43,5
200	46,7
250	48,3
315	52,1
400	53,8
500	55,5
630	57,0
800	57,7
1000	61,2
1250	63,5
1600	63,7
2000	63,6
2500	64,3
3150	55,0
4000	56,9
5000	61,2

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 58 ( -2 ; -7 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittauksiloksin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VS: Betoni 180 mm

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 10,36 \text{ m}^2$

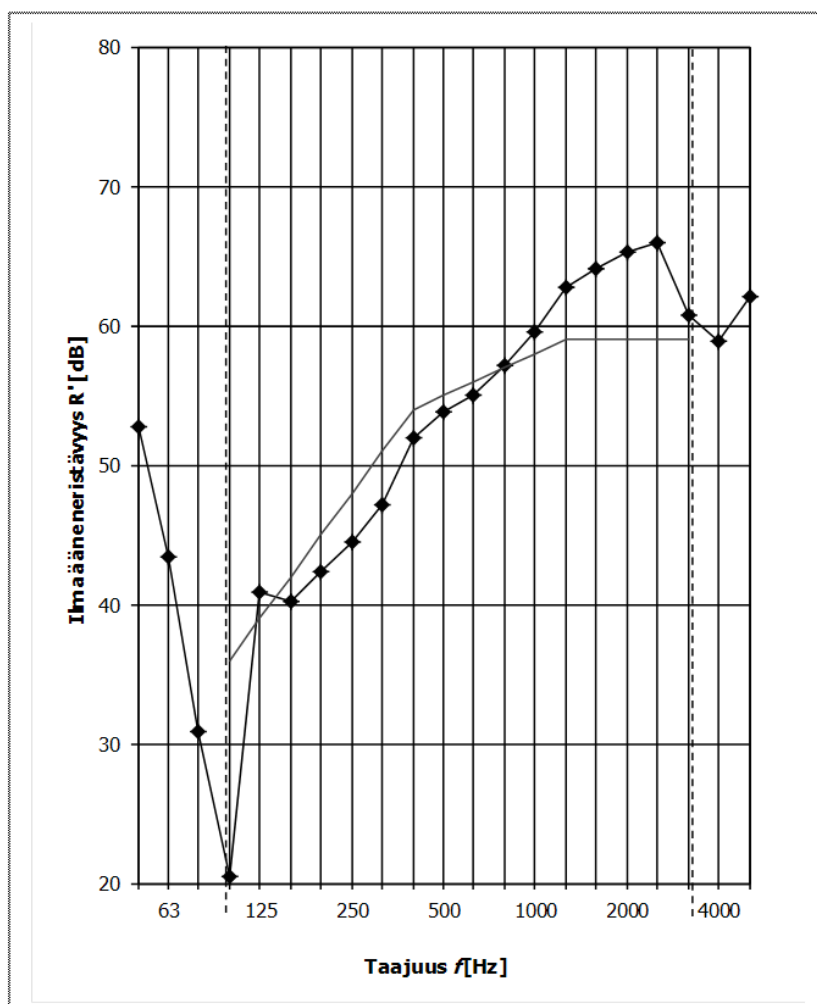
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 27,9 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	$\geq 52,8$
63	43,4
80	30,9
100	20,5
125	40,9
160	40,2
200	42,4
250	44,5
315	47,1
400	51,9
500	53,8
630	55,0
800	57,2
1000	59,6
1250	62,8
1600	64,1
2000	65,3
2500	66,0
3150	60,8
4000	58,9
5000	62,1

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 55 ( -7 ; -15 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

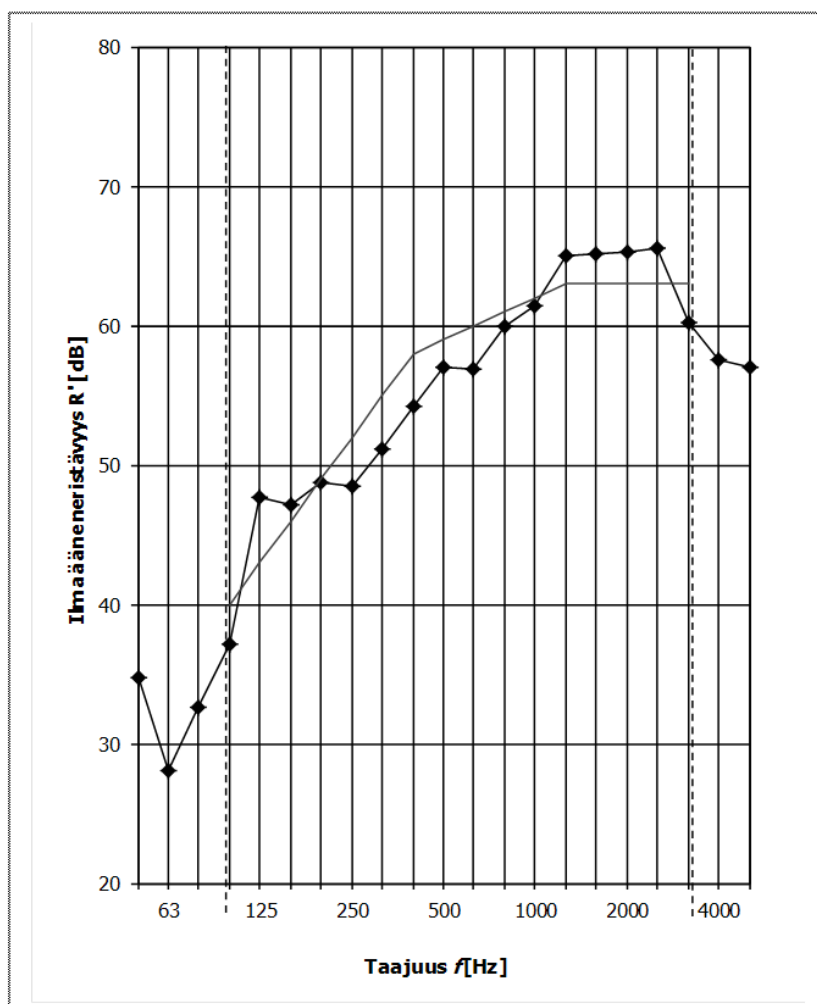
Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$   
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$   
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	34,7
63	28,1
80	32,6
100	37,1
125	47,7
160	47,1
200	48,8
250	48,5
315	51,1
400	54,2
500	57,0
630	56,9
800	60,0
1000	61,4
1250	65,0
1600	65,2
2000	65,3
2500	65,5
3150	60,2
4000	57,6
5000	57,0

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 59 ( -1 ; -5 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittauksiloksiin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

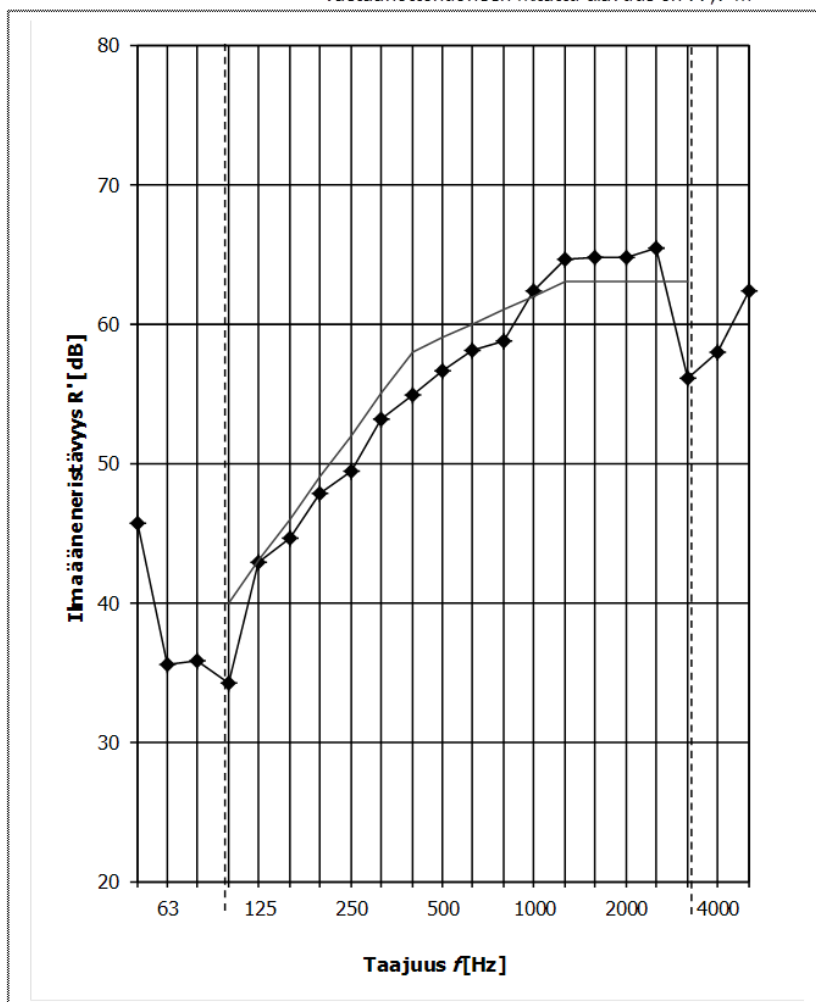
RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	45,7
63	35,5
80	35,8
100	34,2
125	42,9
160	44,6
200	47,8
250	49,4
315	53,2
400	54,9
500	56,6
630	58,1
800	58,8
1000	62,3
1250	64,6
1600	64,8
2000	64,7
2500	65,4
3150	56,1
4000	58,0
5000	62,3

—●— Mittaus

— Vertailukäyrä  
(ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 59 ( -2 ; -7 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.



## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VS: Betoni 180 mm

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 10,36 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 27,9 \text{ m}^3$

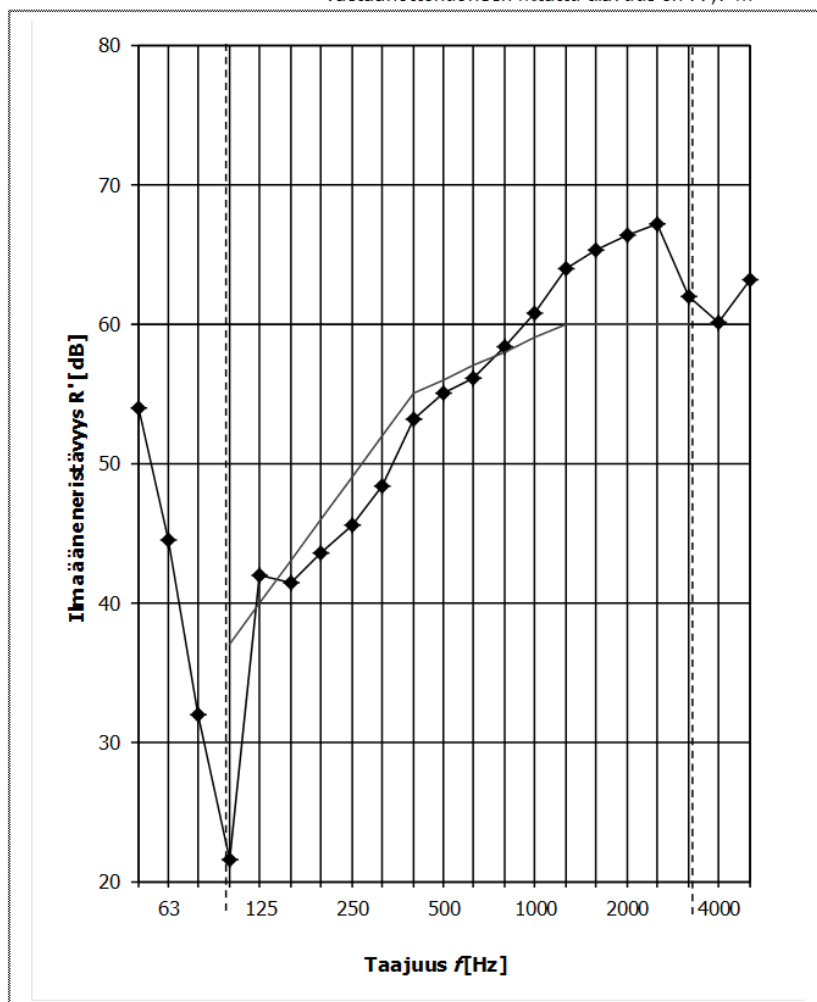
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	$\geq 54$
63	44,5
80	32,0
100	21,6
125	42,0
160	41,4
200	43,5
250	45,6
315	48,3
400	53,1
500	55,0
630	56,1
800	58,3
1000	60,7
1250	63,9
1600	65,3
2000	66,4
2500	67,1
3150	62,0
4000	60,1
5000	63,2

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 56 ( -6 ; -15 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$

mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
**Mittautapa: Värähtelymittaus**

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$

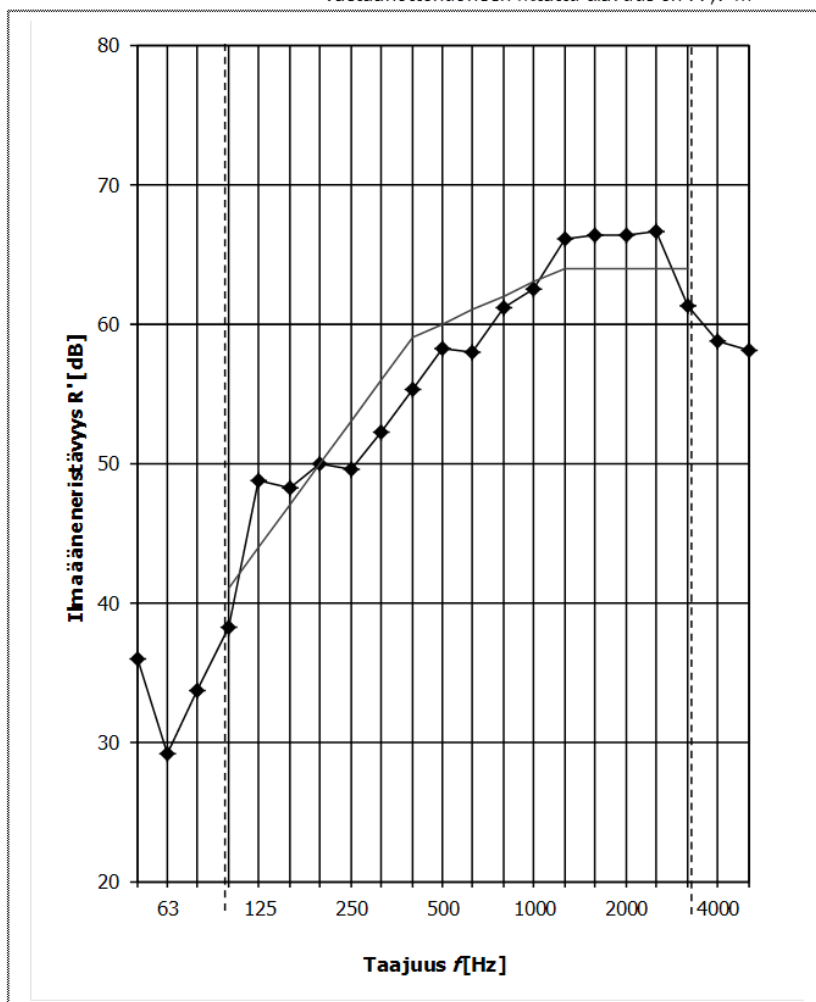
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	35,9
63	29,2
80	33,7
100	38,2
125	48,8
160	48,2
200	49,9
250	49,6
315	52,2
400	55,3
500	58,2
630	58,0
800	61,1
1000	62,5
1250	66,1
1600	66,3
2000	66,4
2500	66,6
3150	61,3
4000	58,8
5000	58,1

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 60 ( -1 ; -5 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

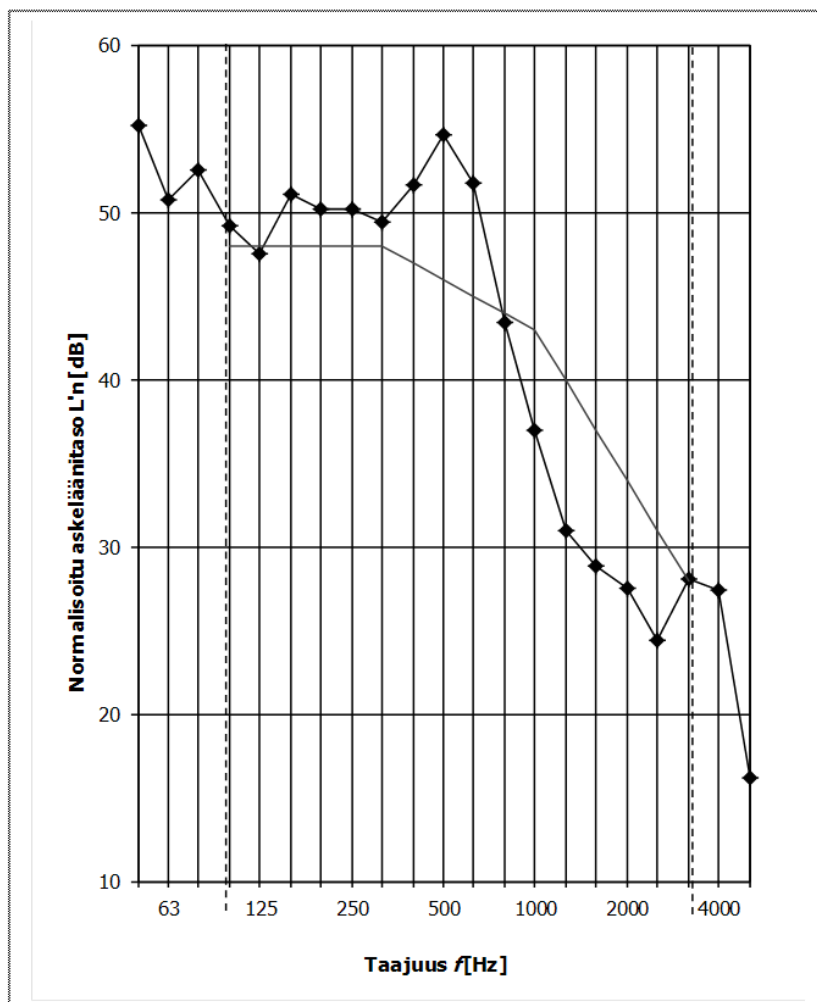
mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	55,2
63	50,7
80	52,5
100	49,2
125	47,5
160	51,1
200	50,2
250	50,2
315	49,4
400	51,6
500	54,6
630	51,7
800	43,4
1000	37,0
1250	31,0
1600	28,8
2000	27,5
2500	24,4
3150	28,1
4000	27,4
5000	16,2

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä  
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):** **46** ( 0 ; 2 ) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittauksiloksin.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

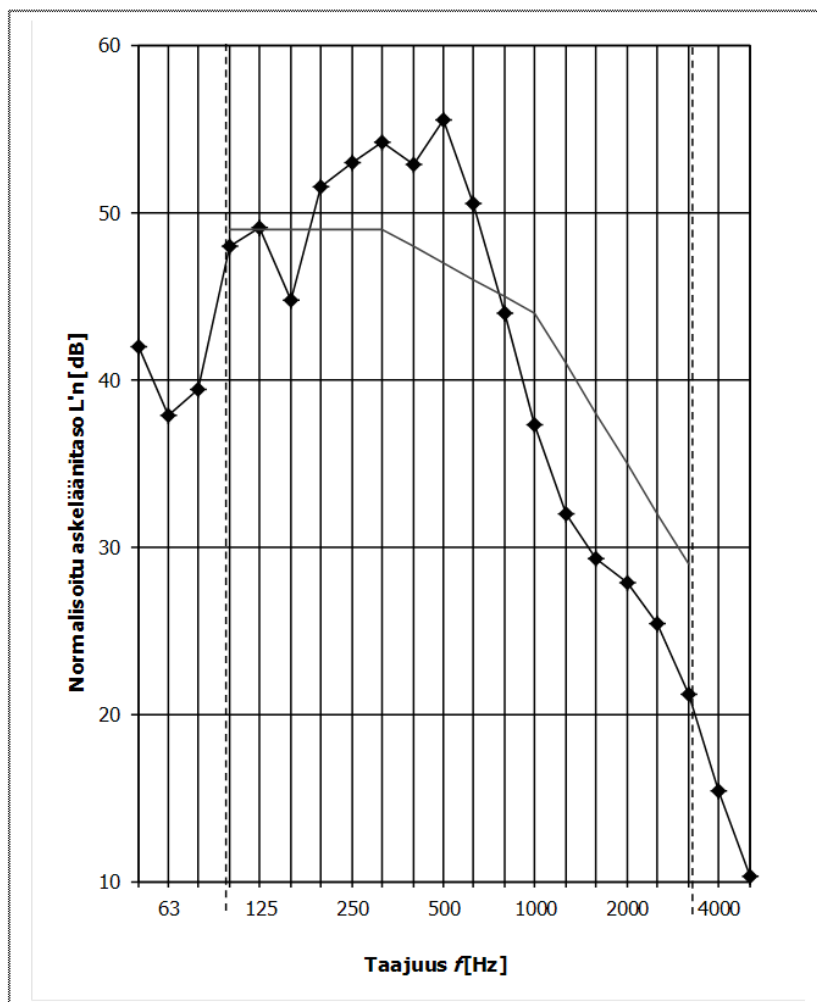
Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	41,9
63	37,8
80	39,4
100	48,0
125	49,1
160	44,7
200	51,5
250	53,0
315	54,2
400	52,8
500	55,5
630	50,5
800	44,0
1000	37,3
1250	32,0
1600	29,3
2000	27,8
2500	25,4
3150	21,2
4000	15,4
5000	≤10,3

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):** **47 ( 0 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, duplex, lautaparketti

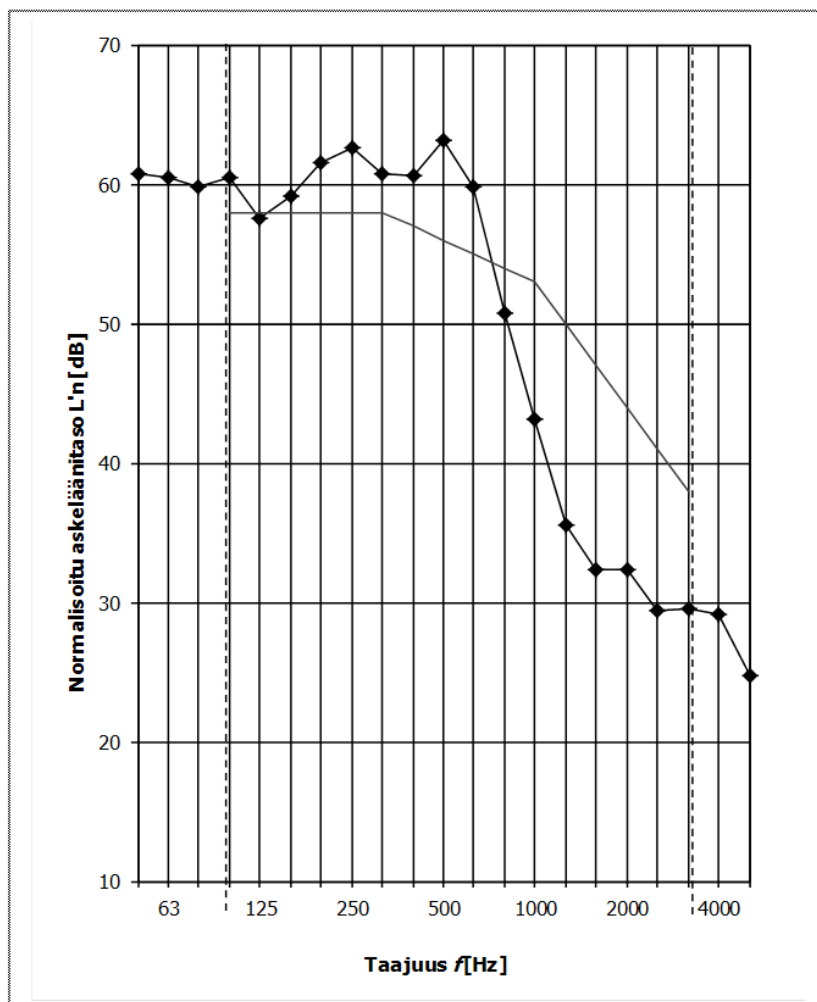
Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	60,7
63	60,5
80	59,8
100	60,5
125	57,6
160	59,2
200	61,6
250	62,6
315	60,7
400	60,6
500	63,2
630	59,8
800	50,7
1000	43,2
1250	35,5
1600	32,4
2000	32,3
2500	29,4
3150	29,6
4000	29,1
5000	24,7

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä



Askeläänitasoluku  $L'_{n,w} (C_1; C_{1,50-2500})$ :

**56** ( -1 ; 1 ) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittauksiloksiin.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, duplex, lautaparketti

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

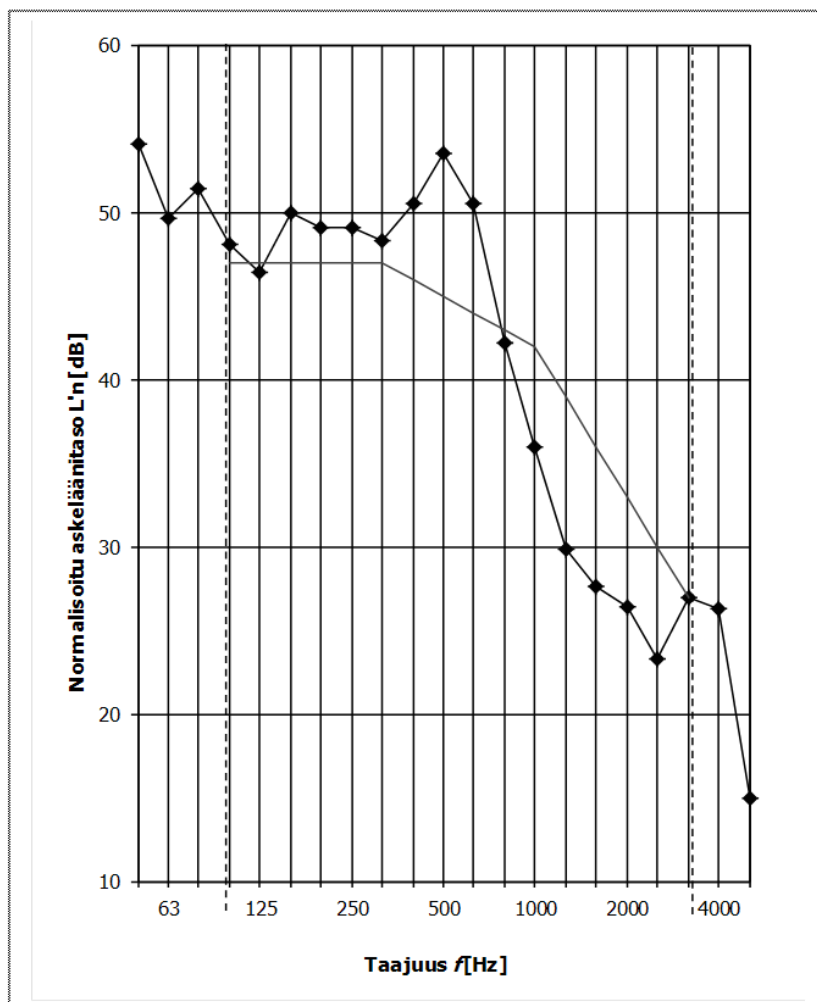
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on 77,7 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	54,1
63	49,6
80	51,4
100	48,1
125	46,4
160	50,0
200	49,1
250	49,1
315	48,3
400	50,5
500	53,5
630	50,5
800	42,2
1000	35,9
1250	29,8
1600	27,6
2000	26,4
2500	23,3
3150	27,0
4000	26,3
5000	15,0

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä  
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**45 ( 0 ; 1 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

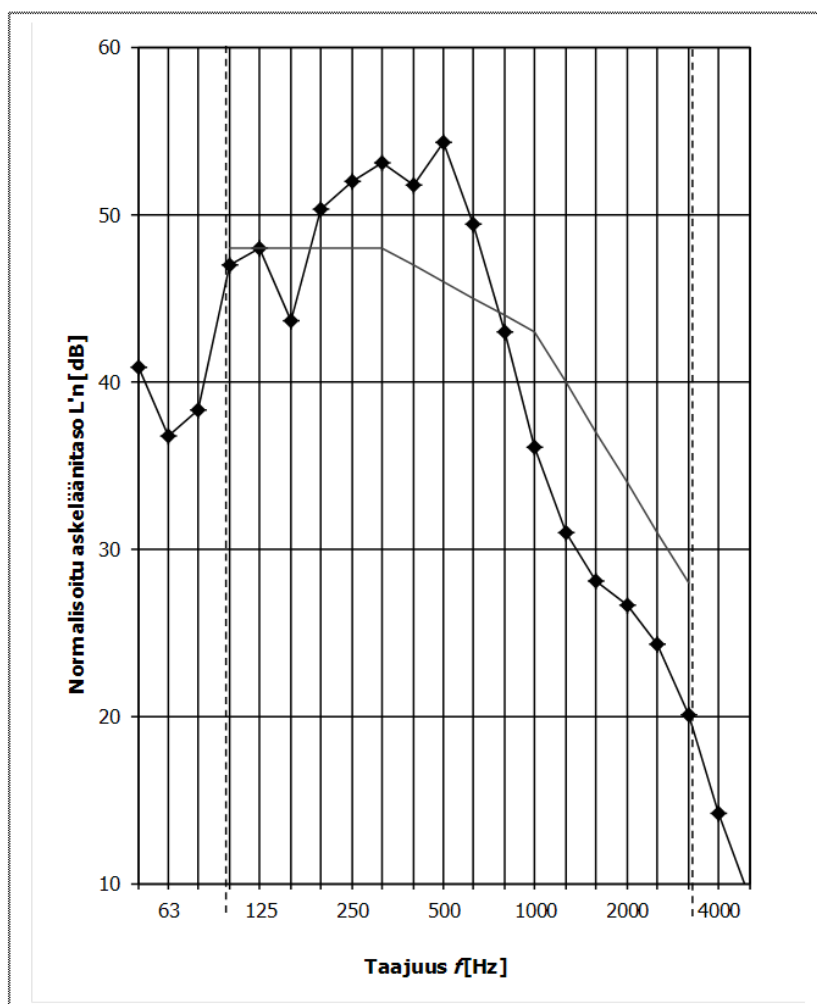
RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on 77,7 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	40,8
63	36,7
80	38,3
100	46,9
125	48,0
160	43,6
200	50,3
250	51,9
315	53,1
400	51,7
500	54,3
630	49,4
800	42,9
1000	36,1
1250	30,9
1600	28,1
2000	26,6
2500	24,3
3150	20,1
4000	14,2
5000	≤9,1

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**46 ( -1 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, duplex, lautaparketti

Mittausaika: 4-6.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: Värähtelymittaus

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

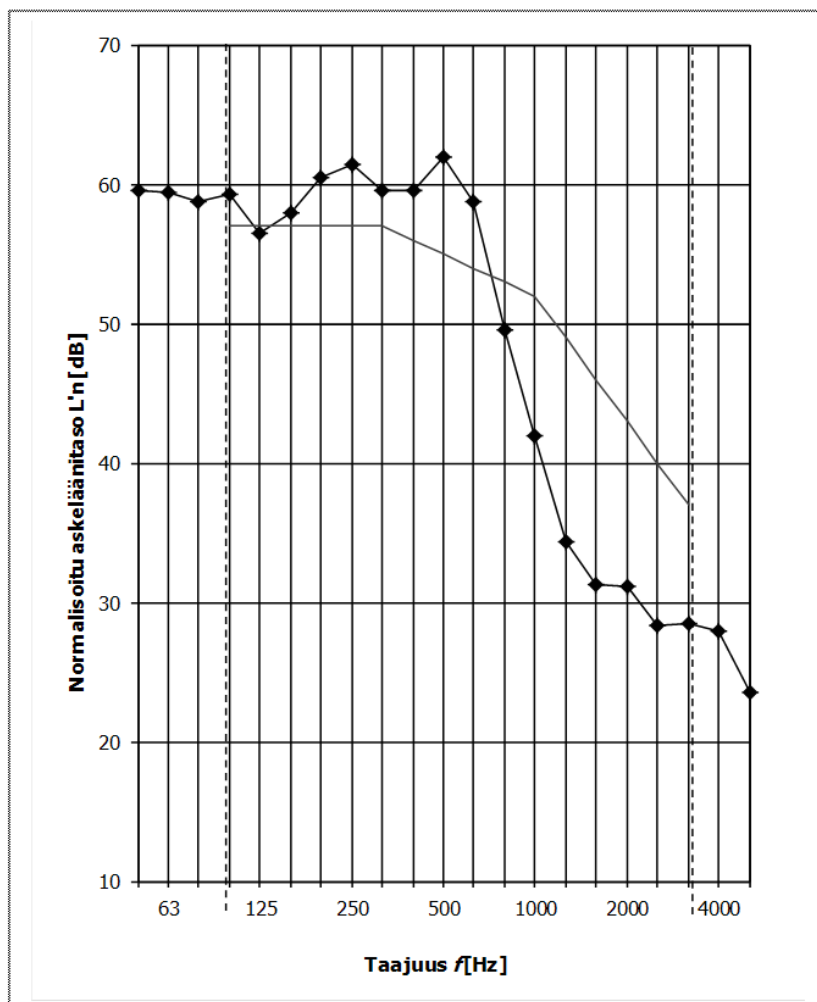
RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	59,6
63	59,4
80	58,7
100	59,3
125	56,5
160	58,0
200	60,5
250	61,4
315	59,6
400	59,5
500	62,0
630	58,7
800	49,5
1000	42,0
1250	34,3
1600	31,3
2000	31,1
2500	28,3
3150	28,5
4000	28,0
5000	23,6

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä



Askeläänitasoluku  $L'_{n,w} (C_1; C_{1,50-2500})$ :

**55** ( -1 ; 1 ) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.



## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



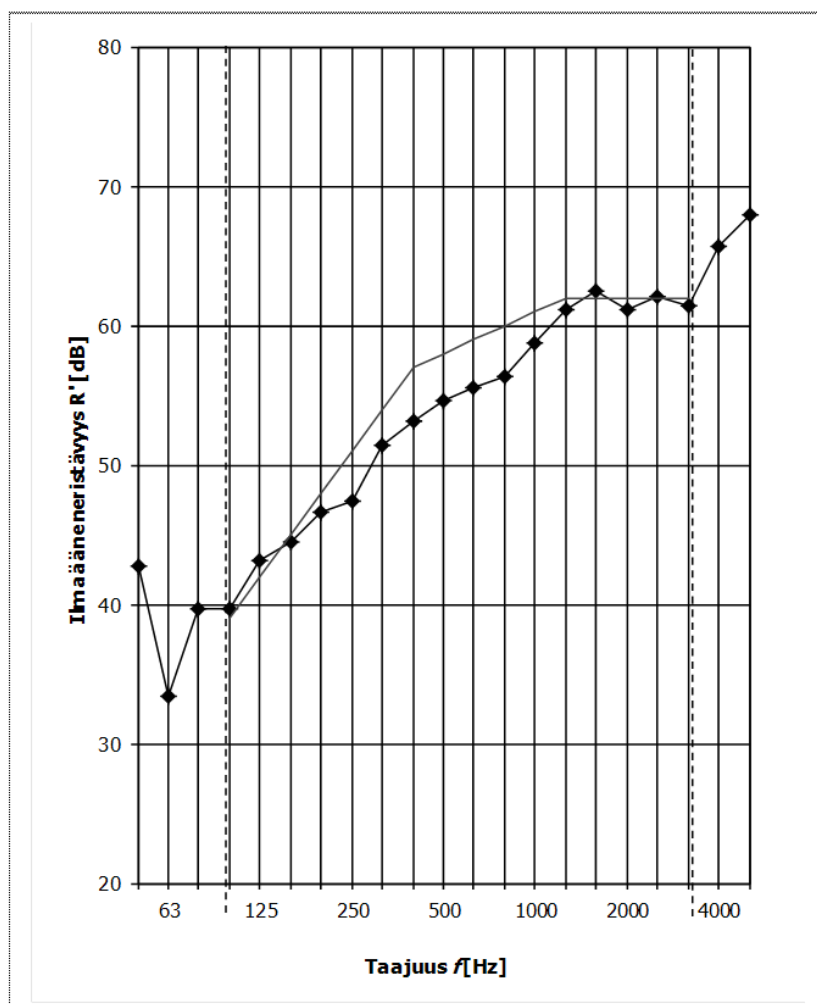
mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$   
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$   
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	42,7
63	33,4
80	39,7
100	39,7
125	43,2
160	44,5
200	46,6
250	47,4
315	51,4
400	53,2
500	54,6
630	55,5
800	56,4
1000	58,7
1250	61,2
1600	62,5
2000	61,1
2500	62,1
3150	61,4
4000	65,7
5000	67,9

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 58 ( -1 ; -5 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



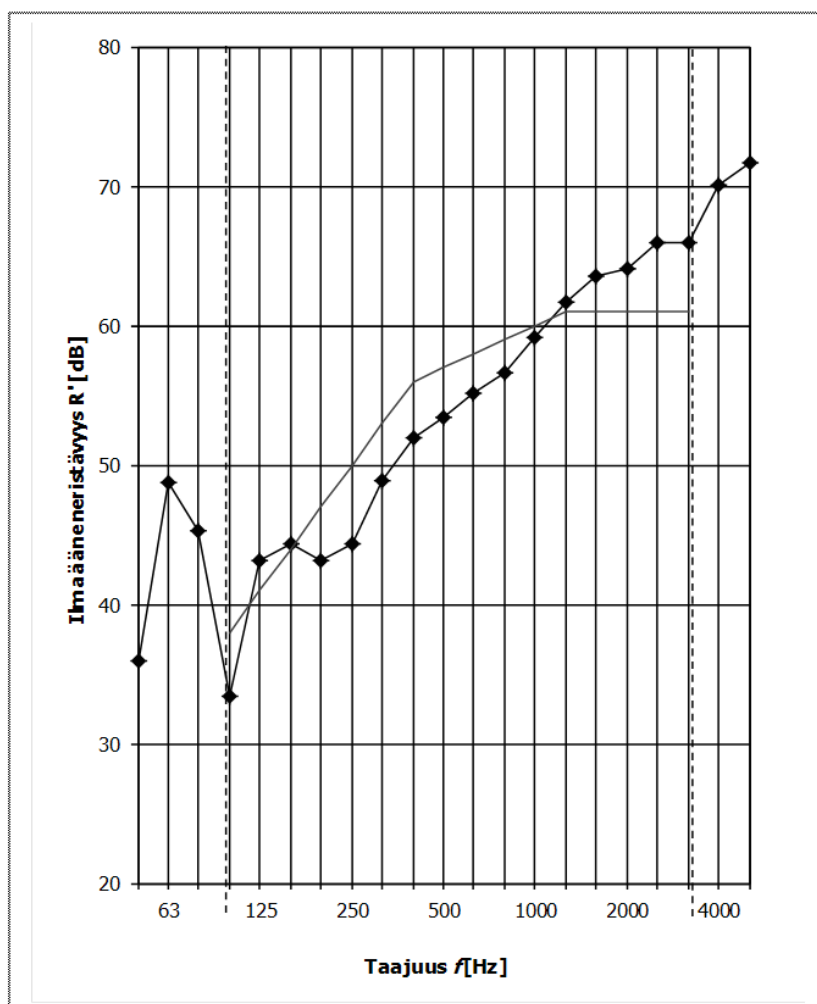
mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VS: Betoni 180 mm

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 10,36 \text{ m}^2$   
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 27,9 \text{ m}^3$   
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	36,0
63	48,8
80	45,3
100	33,4
125	43,1
160	44,3
200	43,2
250	44,4
315	48,9
400	52,0
500	53,4
630	55,1
800	56,6
1000	59,1
1250	61,7
1600	63,6
2000	64,1
2500	66,0
3150	66,0
4000	70,1
5000	71,7

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 57 ( -2 ; -7 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittauksiloksiin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



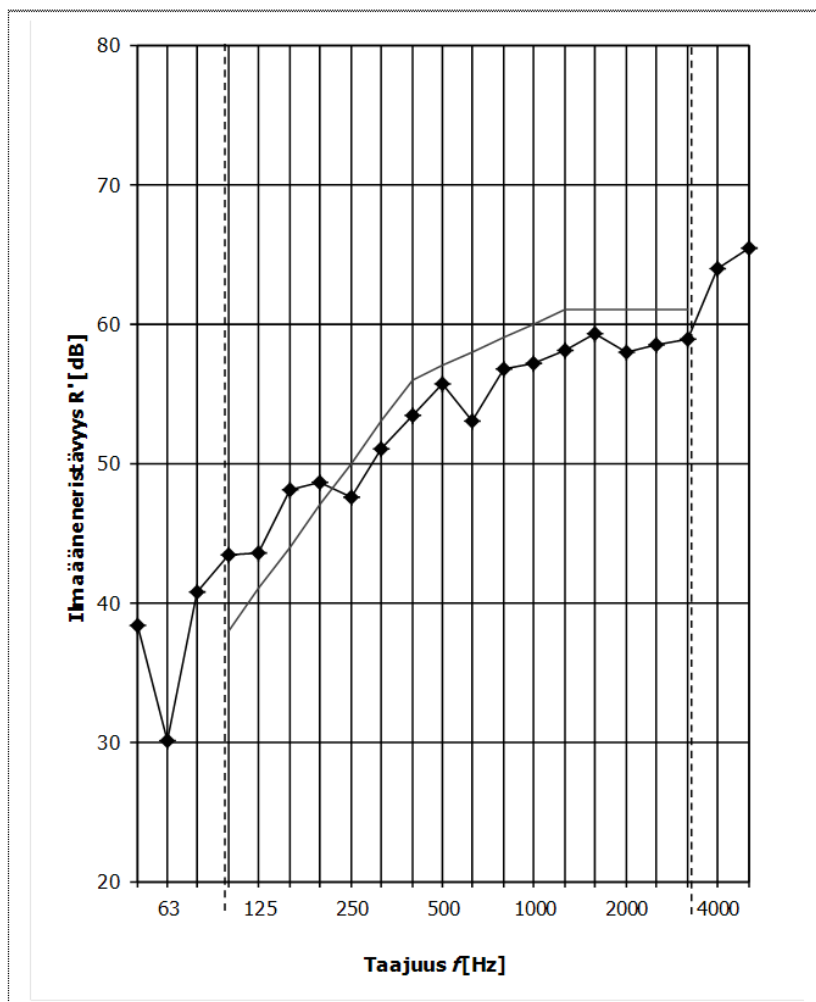
mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$   
Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$   
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	38,3
63	30,1
80	40,8
100	43,4
125	43,6
160	48,1
200	48,6
250	47,6
315	51,0
400	53,4
500	55,7
630	53,0
800	56,7
1000	57,2
1250	58,1
1600	59,3
2000	58,0
2500	58,5
3150	58,9
4000	63,9
5000	65,4

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 57 ( -1 ; -3 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$

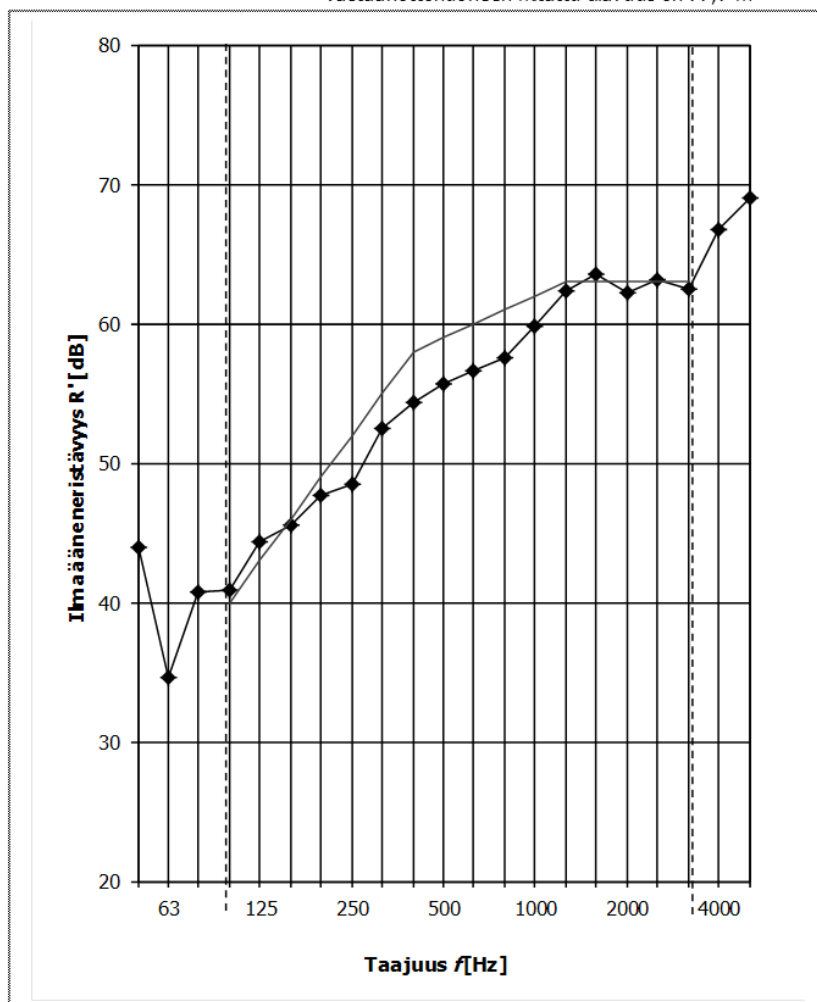
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	43,9
63	34,6
80	40,8
100	40,9
125	44,3
160	45,6
200	47,7
250	48,5
315	52,5
400	54,3
500	55,7
630	56,6
800	57,5
1000	59,8
1250	62,3
1600	63,6
2000	62,2
2500	63,2
3150	62,5
4000	66,8
5000	69,0

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 59 ( -1 ; -5 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VS: Betoni 180 mm

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 10,36 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 27,9 \text{ m}^3$

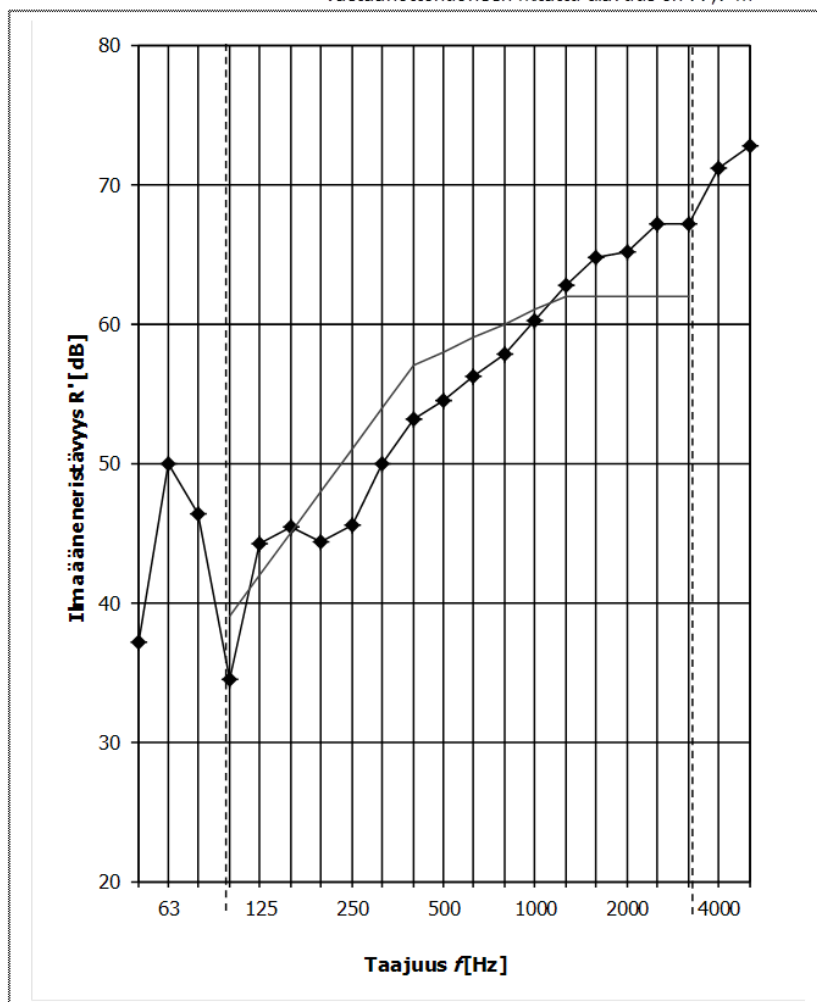
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	37,2
63	49,9
80	46,4
100	34,5
125	44,2
160	45,4
200	44,3
250	45,5
315	50,0
400	53,1
500	54,5
630	56,2
800	57,8
1000	60,2
1250	62,8
1600	64,7
2000	65,2
2500	67,1
3150	67,1
4000	71,2
5000	72,8

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 58 ( -2 ; -7 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Ilmaääneneristysluku $R'_w$



mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite

Mittausaika: 4.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-4

Erottavan rakenteen pinta-ala:  $S = 29,7 \text{ m}^2$

Lähetysruoneen tilavuus:  $V_L = 77,7 \text{ m}^3$

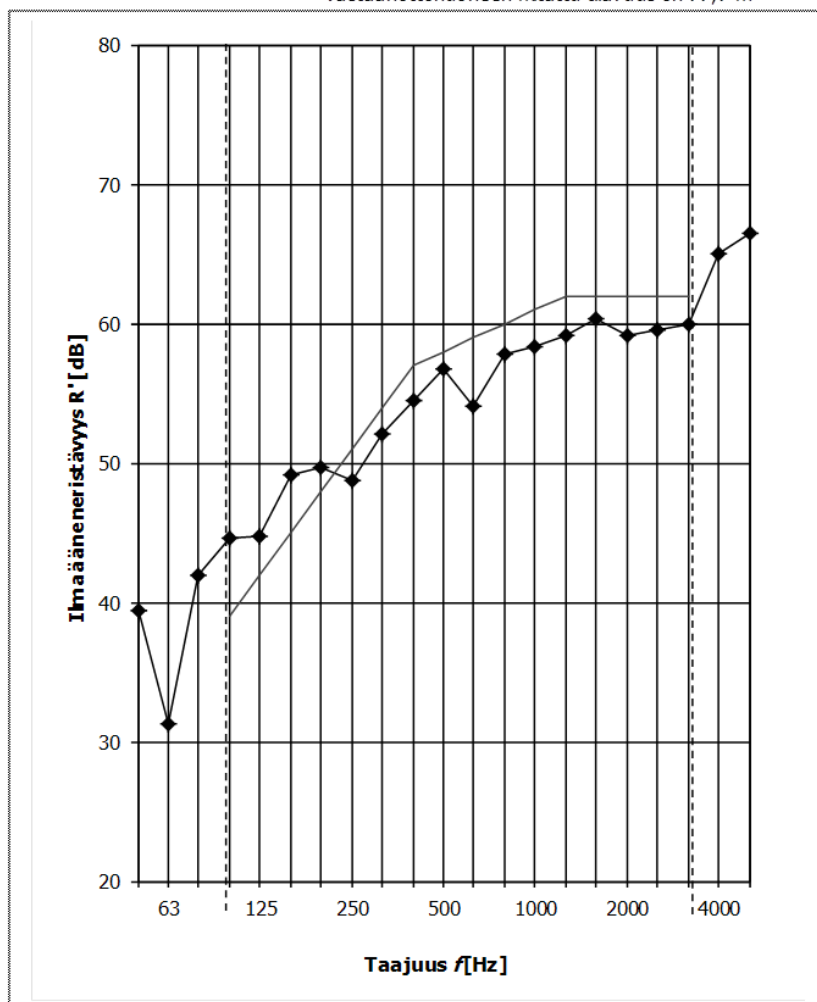
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$R'$ [dB]
50	39,4
63	31,3
80	41,9
100	44,6
125	44,7
160	49,2
200	49,7
250	48,7
315	52,1
400	54,5
500	56,8
630	54,1
800	57,8
1000	58,3
1250	59,2
1600	60,4
2000	59,1
2500	59,6
3150	60,0
4000	65,0
5000	66,5

—♦— Mittaus  
— Vertailukäyrä (ISO 717-1)



ISO 717-1 mukaisesti määritetyt

**Ilmaääneneristysluku  $R'_w (C; C_{tr})$ : 58 ( -1 ; -3 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



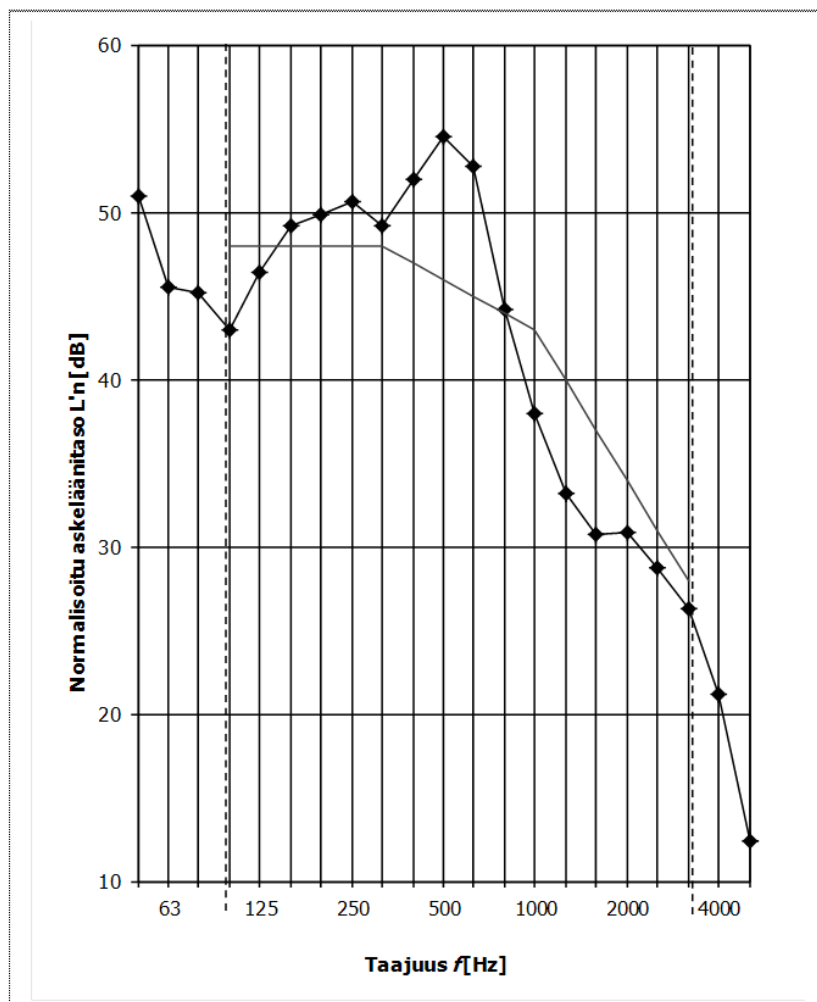
mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	50,9
63	45,5
80	45,2
100	42,9
125	46,4
160	49,2
200	49,8
250	50,6
315	49,2
400	51,9
500	54,5
630	52,7
800	44,2
1000	38,0
1250	33,2
1600	30,7
2000	30,8
2500	28,7
3150	26,3
4000	21,2
5000	≤12,4

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä  
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**46 ( -1 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.



## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

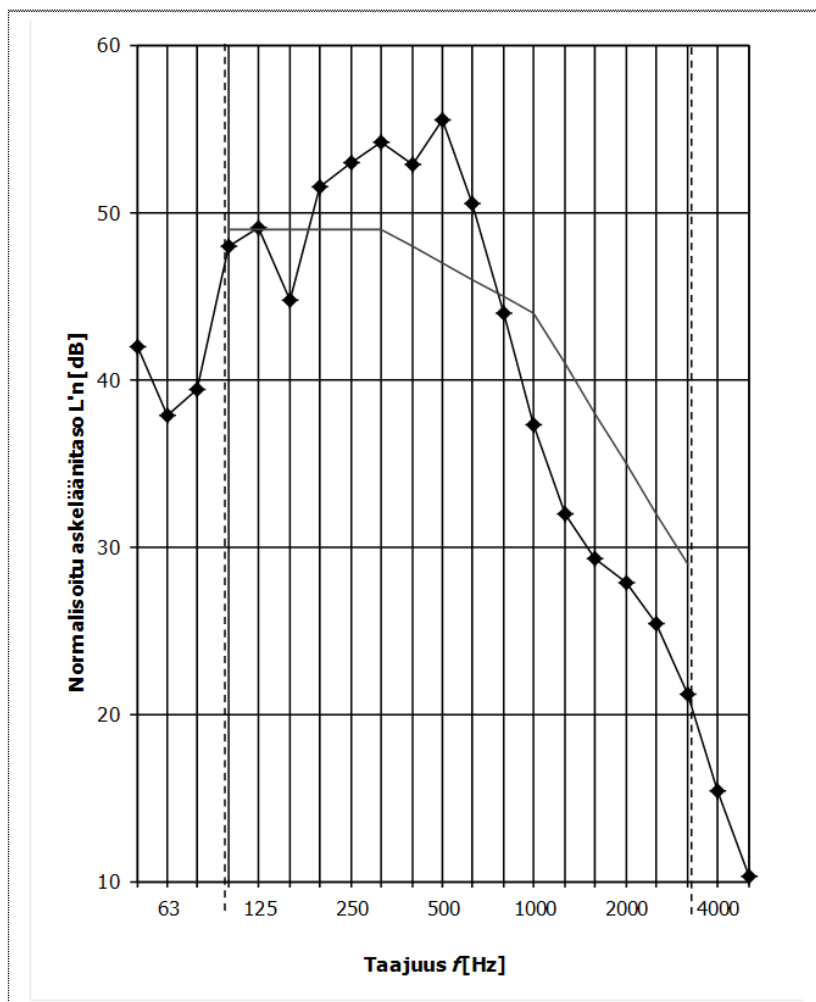
Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	41,9
63	37,8
80	39,4
100	48,0
125	49,1
160	44,7
200	51,5
250	53,0
315	54,2
400	52,8
500	55,5
630	50,5
800	44,0
1000	37,3
1250	32,0
1600	29,3
2000	27,8
2500	25,4
3150	21,2
4000	15,4
5000	$\leq 10,3$

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):** **47 ( 0 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.



## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

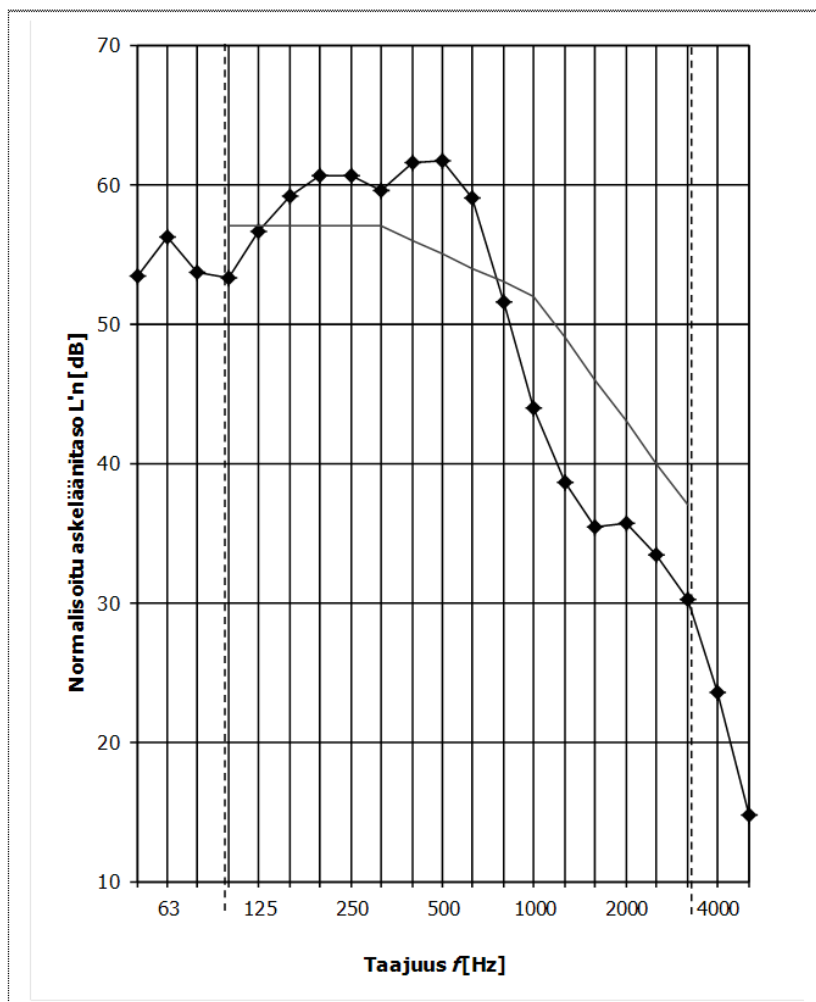
Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	53,4
63	56,2
80	53,7
100	53,3
125	56,6
160	59,1
200	60,6
250	60,6
315	59,5
400	61,5
500	61,7
630	59,0
800	51,5
1000	43,9
1250	38,6
1600	35,4
2000	35,7
2500	33,4
3150	30,2
4000	23,5
5000	≤14,8

—●— Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):** **55** ( -1 ; 0 ) dB

Laskenta perustuu kolmannesosaaktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



mistä: A1 OH+K, ylös  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

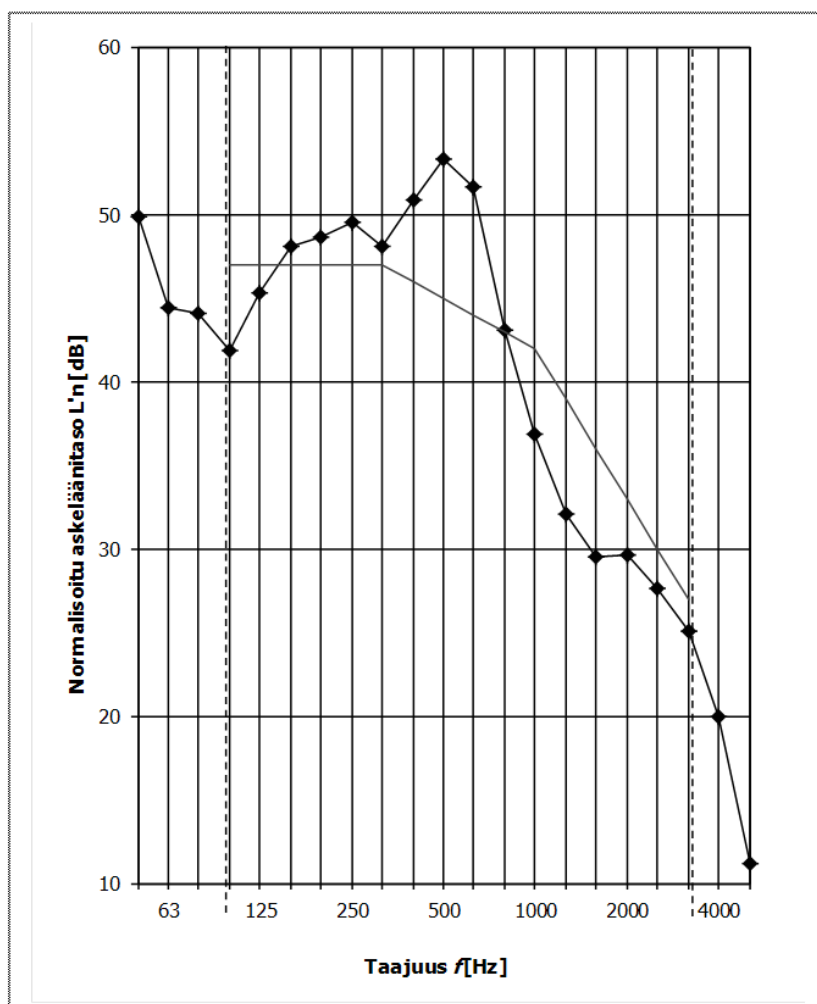
RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on 77,7 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	49,8
63	44,4
80	44,1
100	41,8
125	45,3
160	48,1
200	48,6
250	49,5
315	48,1
400	50,8
500	53,3
630	51,6
800	43,1
1000	36,8
1250	32,1
1600	29,5
2000	29,6
2500	27,6
3150	25,1
4000	20,0
5000	≤11,2

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**45 ( -1 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



mistä: A5 MH, vaakaan  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, tuplex, lautaparketti

Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

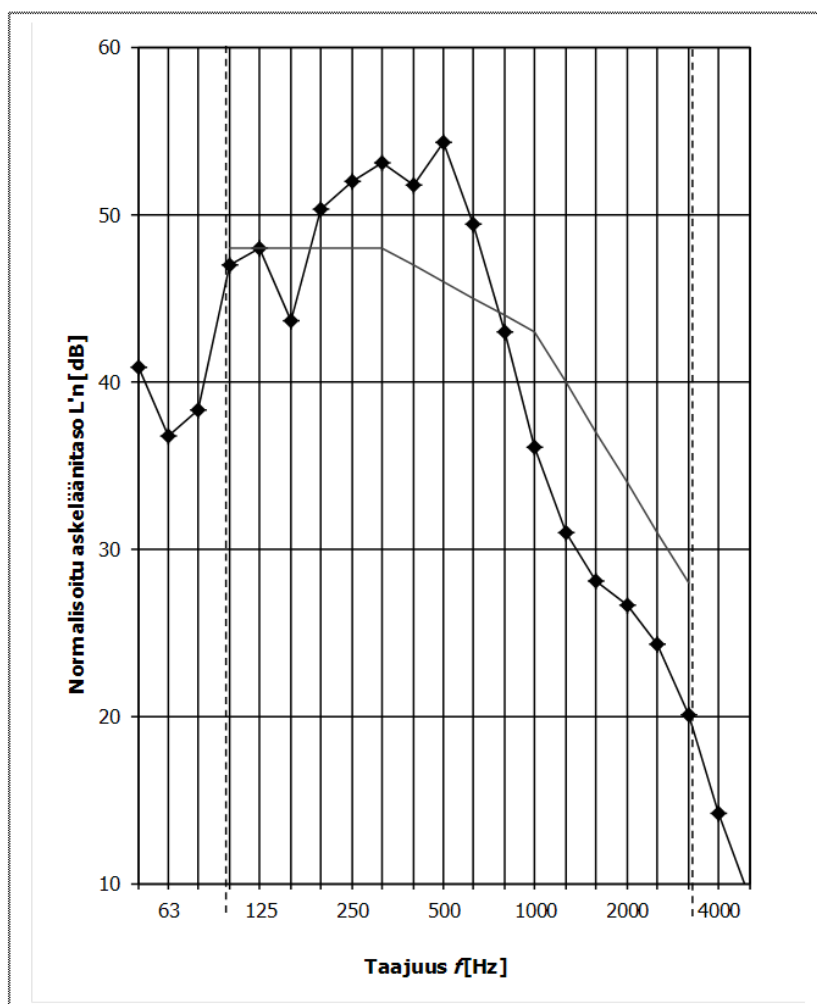
RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on  $77,7 \text{ m}^3$

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	40,8
63	36,7
80	38,3
100	46,9
125	48,0
160	43,6
200	50,3
250	51,9
315	53,1
400	51,7
500	54,3
630	49,4
800	42,9
1000	36,1
1250	30,9
1600	28,1
2000	26,6
2500	24,3
3150	20,1
4000	14,2
5000	≤9,1

◆ Mittaus
— Vertailukäyrä ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ( $C_1$ ;  $C_{1,50-2500}$ ):**

**46 ( -1 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.

## Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$



mistä: A9 OH+K, alas  
mihin: A4 OH+K  
Erottava rakenne: VP: Ontelolaatta 370 mm, tasoite, duplex, lautaparketti

Mittausaika: 5.3.2011  
Mittaja: Tommi Saviluoto  
Mittautapa: ISO 140-7

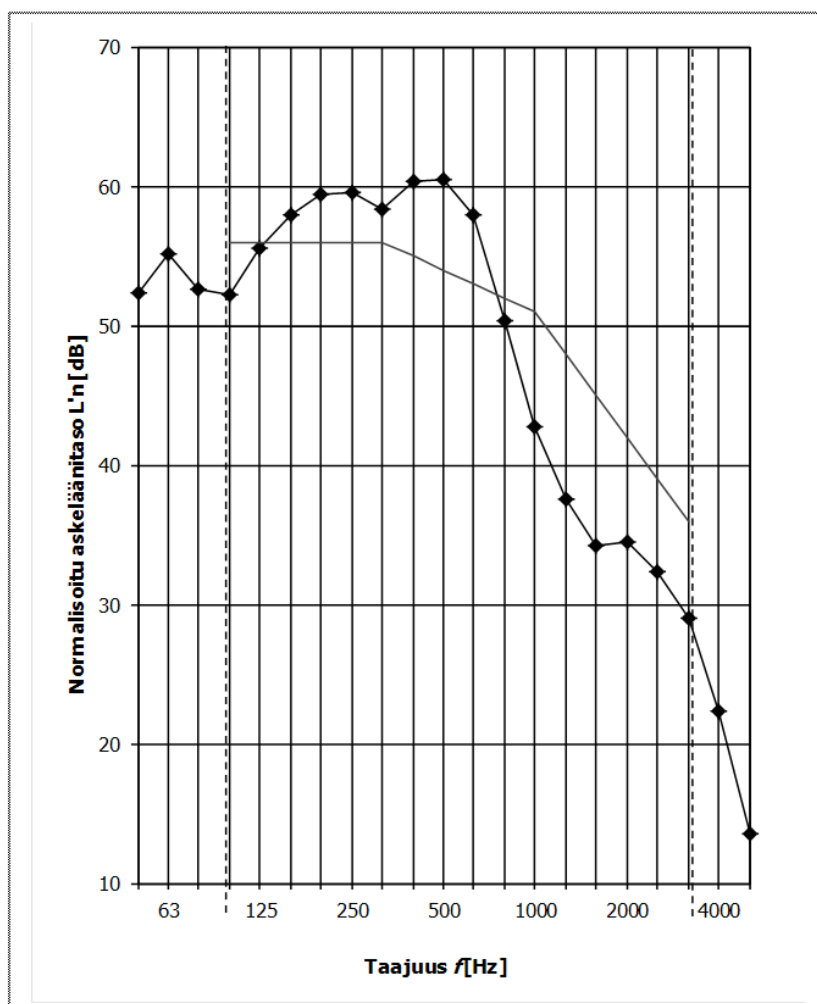
Vastaanottohuoneen tilavuus:  $V_V = 60 \text{ m}^3$

RTY:n suosituksen mukainen tilavuusrajoitus.

Vastaanottohuoneen mitattu tilavuus on 77,7 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]
50	52,3
63	55,1
80	52,6
100	52,2
125	55,5
160	58,0
200	59,4
250	59,5
315	58,4
400	60,4
500	60,5
630	57,9
800	50,4
1000	42,7
1250	37,5
1600	34,2
2000	34,5
2500	32,3
3150	29,0
4000	22,3
5000	≤13,6

—●— Mittaus  
— Vertailukäyrä  
ISO 717-2



ISO 717-2 mukaisesti määritetyt

**Askeläänitasoluku  $L'_{n,w} (C_1; C_{1,50-2500})$ :**

**54 ( -1 ; 0 ) dB**

Laskenta perustuu kolmannesosaoktaavikaistaisiin kenttämittaustuloksiin.

Tulos laskettu RTY:n suosituksen mukaisella tilavuusrajoituksella.



**RAKENNUSBETONI-  
JA ELEMENTTI OY**

PL 102 15871 HOLLOLA  
Puhelin (03) 877 200 Telefax (03) 877 2010

Rakennuskohteen nimi

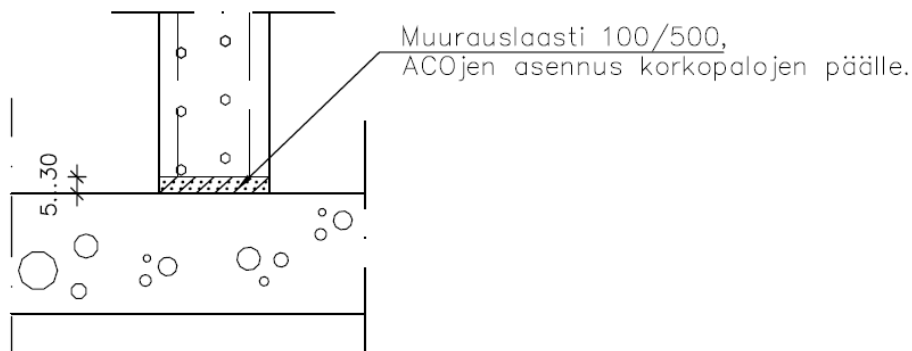
**ACO- ASENNUSOHJEET**

Mittakaava

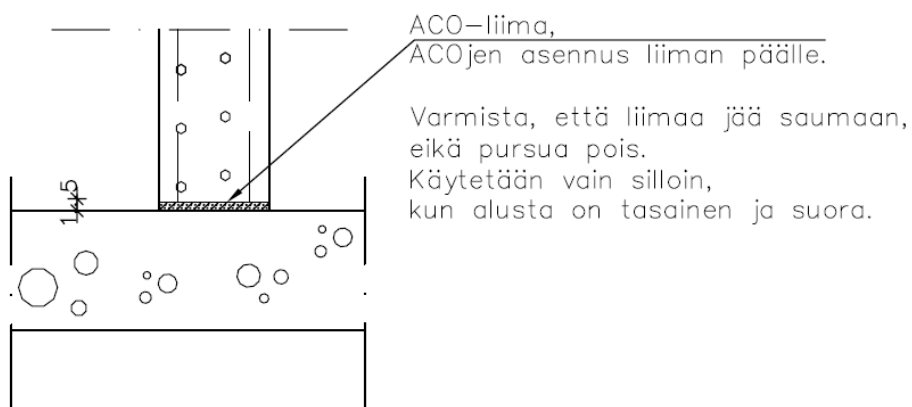
Sisältö

**ACO-SEINÄELEMENTIN ALAPÄÄN LIITOKSIA**

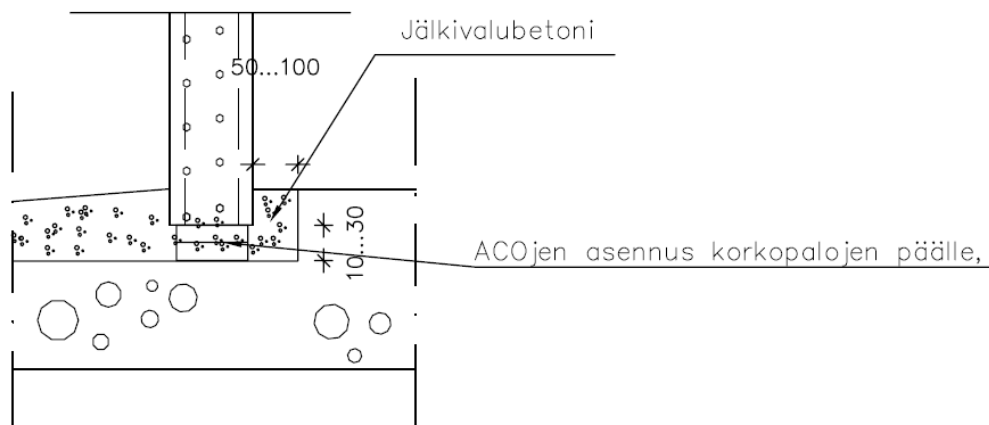
**DET AP1** käytetään, kun ACO-elementit asennetaan esimerkiksi raakavalun tai ontelon päältä.



**DET AP2** käytetään, kun ACO-elementit asennetaan esimerkiksi teräshieretyn tai tasoitetun lattian päältä



**DET AP3** käytetään, kun ACO-elementit asennetaan esimerkiksi kololaatan päälle tai ennen jälkivalettavaa lattiaa





**RAKENNUSBETONI-  
JA ELEMENTTI OY**

PL 102 15871 HOLLOLA  
Puhelin (03) 877 200 Telefax (03) 877 2010

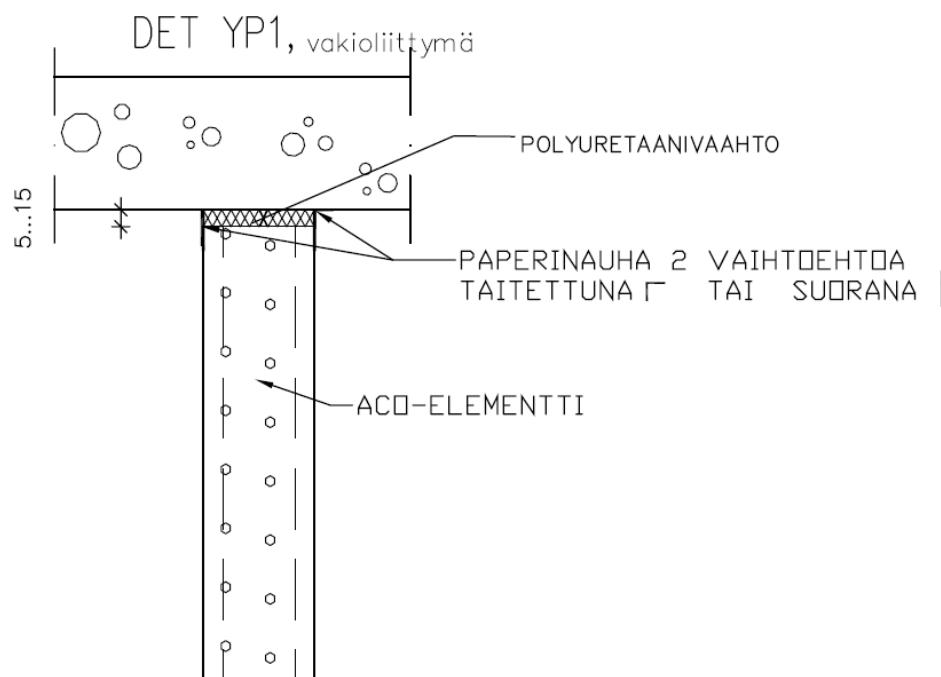
Rakennuskohteen nimi

**ACO- ASENNUSOHJEET**

Mittakaava

Sisältö

**ACO-SEINÄELEMENTIN YLÄPÄÄN LIITOKSIA  
EI PALO-OSASTOIVA SEINÄ**





**RAKENNUSBETONI-  
JA ELEMENTTI OY**

PL 102 15871 HOLLOLA  
Puhelin (03) 877 200 Telefax (03) 877 2010

Rakennuskohteen nimi

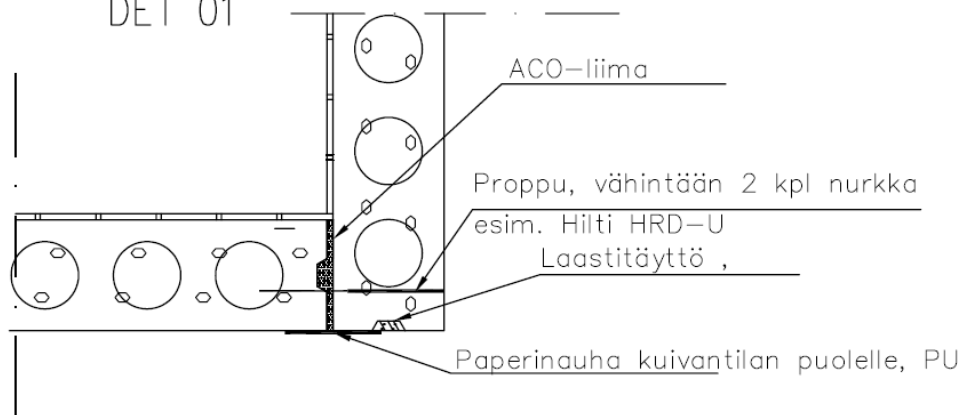
**ACO- ASENNUSOHJEET**

Mittakaava

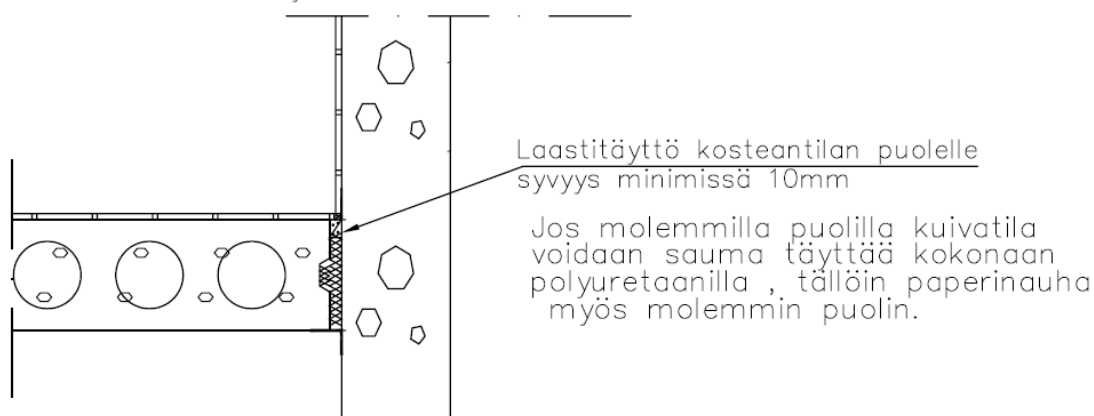
Sisältö

**ELEMENTTIEN NURKKALIITOKSIA JA  
LIITTYMINEN MUIHIN SEINIIN**

DET 01

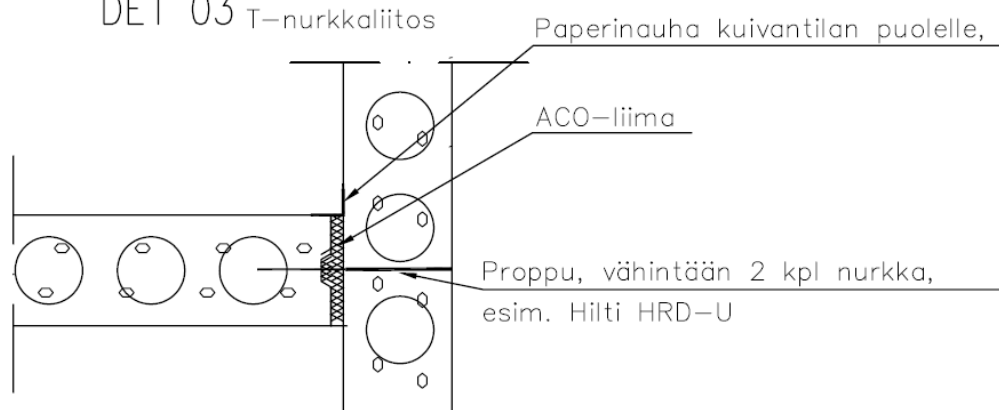


DET 02 liittyminen muihin rakenteisiin



Palo-osastoivissa seinissä saumaan ei saa käyttää PU:ta  
Sauma täytetään ACO- liimalla tai muurauslaastilla  
tällöin yläsauma tehdään palo-osastoivan seinädetaljin mukaisesti.

DET 03 T-nurkkaliitos





**RAKENNUSBETONI-  
JA ELEMENTTI OY**

PL 102 15871 HOLLOLA  
Puhelin (03) 877 200 Telefax (03) 877 2010

Rakennuskohteen nimi

**ACO- ASENNUSSOHJEET**

Mittakaava

Sisältö

**AUKON YLITYS NORMAALI TAPAUUS  
KUN PIELET JÄÄ PIILOON**

oven ylityspala, oven leveys < 1200 mm

OVI YP

